



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Maestría en Toxicología Industrial y Ambiental

Segunda Cohorte

**Evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de
Arsénico en fuentes de agua para consumo humano, en las
ciudades de Cuenca y Azogues**

**Tesis previa a la obtención del Título
de Magister en Toxicología
Industrial y Ambiental**

AUTORA:

BQF. María Eugenia Velasco Heras

C.I. 0103720702

DIRECTORA:

Dra. Gladys Guillermina Pauta Calle MSc.

C.I. 0300691045

Cuenca - Ecuador

Noviembre 2018

RESUMEN

Se determina la presencia de Arsénico en fuentes de agua en las ciudades de Cuenca y de Azogues y se evalúa el posible riesgo toxicológico por el consumo del agua sin tratamiento previo; se analiza el efecto ecotoxicológico que puede producirse en los sembríos a través del agua de riego y en los animales que la beben en dichas zonas. Se estableció un programa de monitoreo con dos campañas durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del año 2017, en los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui, y Machángara; en acuíferos dentro de la Universidad de Cuenca y en el páramo de Quimsacocha en la ciudad de Cuenca; y en la ciudad de Azogues, para los ríos Burgay y Tabacay. Los monitoreos abarcan dos períodos climáticos representativos. En los ríos se ubicaron estaciones de control definidas, y se evaluó el riesgo toxicológico en todas las muestras que presentaron un valor positivo para el Arsénico.

Se determinan algunos indicadores de calidad físico-química como: pH, color, turbiedad, conductividad y temperatura, en cada fuente de abastecimiento, para establecer alguna relación con la presencia de Arsénico, cuyos valores se comparan con los establecidos en la Normativa Ecuatoriana TULSMA Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

Los resultados indican que todos los ríos están contaminados con Arsénico, y que en invierno, las concentraciones son mayores debido a un arrastre por escorrentía. Los páramos y los acuíferos están libres de este elemento.

La evaluación en todas las fuentes, indica que no hay riesgo toxicológico para el abastecimiento, ni riesgo ecotoxicológico que limite los usos del agua, ya que todas las concentraciones detectadas están por debajo de los límites permisibles.

PALABRAS CLAVES: Fuentes de Abastecimiento, Arsénico, Riesgo Toxicológico, Páramos.



ABSTRACT

Arsenic presence on water sources from Cuenca and Azogues cities was determined, and the possible toxicological risk was evaluated by water consumption without previous treatment. Likewise, Ecotoxicological effect that can occur in sowings through irrigation water and the effect that can exist in animals that drink it that zones was analyzed. A monitoring program was established with two campaigns during August, September, October and November of 2017; it was executed in Tomebamba, Yanuncay, Tarqui and Machángara rivers, inside University of Cuenca aquifers, Quimsacocha paramo in Cuenca city, and finally in Burgay and Tabacay rivers both from Azogues city. Monitoring covers two representative climatic periods. Defined control stations were located in rivers, and toxicological risk was evaluated in all samples that presented an arsenic positive value. Some physical-chemical quality indicators were determined such as: pH, color, turbidity, conductivity and temperature in each supply source. Those indicator was used to establish some possible relation with arsenic presence, whose values were compared with those established in Ecuadorian Regulation TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente; Secondary Environment Legislation Unified Text). Findings indicated that all rivers were contaminated with arsenic, and concentrations were higher due to transport by runoff in winter. Paramos and aquifers were free from Arsenic. Assessing all sources indicated there is no toxicological risk for water supply, nor ecotoxicological risk that limits water use, because all concentrations detected were below permissible limits.

KEYWORDS: Supply Sources, Arsenic, Toxicological Risk, Paramos.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT.....	3
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	14
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS.....	9
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA.....	10
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo General	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 HIPOTESIS	16
1.4 JUSTIFICACION	17
CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 EL AGUA.....	18
2.1.1 Importancia del agua y su distribución en el Planeta	20
2.1.2 Ciclo Hidrológico	21
2.1.3 Usos del agua	22
2.1.4 Fuentes de abastecimiento de agua	23
2.1.5 Calidad del agua	24
2.1.6 Parámetros físico-químicos del agua.....	24
2.2 EL ARSENICO	26
2.2.1 Origen y abundancia.....	26
2.2.2 Propiedades del Arsénico.....	28
2.2.3 Usos del Arsénico y fuentes de contaminación	28
2.2.4 Toxicidad y Ecotoxicidad	29
2.2.5 Arsénico y el agua.....	32
2.2.6 El Arsénico y la Industria Minera	34

2.2.7 Niveles de exposición y niveles máximos permitidos	34
2.2.8 Antecedentes de contaminación con Arsénico en el Ecuador y otros países.....	37
CAPITULO III: METODOLOGÍA	41
3.1 Descripción Geológica y Geomorfológica de las zonas de Estudio.....	41
3.1.1 Subcuenca del río Tomebamba	41
3.1.2 Subcuenca del Río Yanuncay.....	43
3.1.3 Subcuenca del Río Tarqui	45
3.1.4 Subcuenca del Río Machángara.....	47
3.1.5 Subcuencas de los Ríos Burgay y Tabacay	50
3.1.6 Subcuenca de los Páramos de Quimsacocha	53
3.2 TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO	55
3.3 POBLACION, MUESTRA Y CAMPAÑAS DE MUESTREO	56
3.3.1 Criterios de Recolección	57
3.3.2 Tipos de Recipientes, Transporte y conservación	58
3.4 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS FISICO- QUIMICOS	58
3.4.1 Calidad física-química del agua.	58
3.4.2 Determinación química del Arsénico.....	59
3.4.3 Curvas de calibración para determinación de Arsénico.	61
3.5 Valores Máximos Permitidos para el Arsénico, establecidos por la Normativa Ecuatoriana Tulsma, según usos del Agua	65
3.6 METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO	68
3.6.1 Para sustancias no cancerígenas	68
3.6.2 Para cancerígenos.....	71
3.6.3 Cálculo del riesgo toxicológico.....	72
3.6.4 Datos toxicológicos del Arsénico	73
CAPITULO IV: RESULTADOS	74
4.1 RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y ARSÉNICO	74
4.2 COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS, CON VALORES DE NORMA	81

4.3 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO POR LA PROBABLE PRESENCIA DE ARSÉNICO Y BASES TOXCOLOGIA.....	84
CAPITULO V: ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISCUSIÓN	88
5.1 CRITERIOS PARA ANALISIS ESTADISTICO	88
5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
5.3 CORRELACIONES ENTRE LOS NIVELES DE ARSENICO Y LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA	101
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	106
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES.....	109
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS.....	114

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL MEDIO AMBIENTE	27
TABLA 2: VALORES DE INGESTA DE ARSÉNICO EN DIVERSOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS	34
TABLA 3: VALORES DE ARSÉNICO ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA TULSMA Y EN EL REGISTRO OFICIAL REFORMA NOVIEMBRE 2015 PARA FUENTES SUPERFICIALES (RÍOS) Y AGUAS SUBTERRÁNEAS	36
TABLA 4: VALOR DE ARSÉNICO ESTABLECIDO POR LA NORMATIVA INEN 1108 PARA EL AGUA POTABLE.	36
TABLA 5: FORMACIONES GEOLÓGICAS EXISTENTES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TOMBAMBA	43
TABLA 6: GEOMORFOLOGÍA DE LA PARROQUIA TARQUI	46
TABLA 7: PRINCIPALES FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL SUBCUENCA DEL RIO TARQUI	47
TABLA 8: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGA	49
TABLA 9: FORMACIONES GEOMORFOLÓGICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY	52
TABLA 10: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY	53
TABLA 11: FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL PÁRAMO DE QUIMSACocha	55
TABLA 12: ESTACIONES DE MONITOREO DE LOS RÍOS	56
TABLA 13: ESTACIONES DE MONITOREO DE LOS PÁRAMOS.....	56
TABLA 14: ESTACIONES DE MONITOREO DE LOS POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	57
TABLA 15: TÉCNICAS DE LA METODOLOGÍA USADA EN LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS	59
TABLA 16: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	65
TABLA 17: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS.....	66
TABLA 18: CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA	66
TABLA 19: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA USO PECUARIO	67
TABLA 20: CRITERIOS REFERENCIALES DE CALIDAD PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS, CONSIDERANDO UN SUELO CON CONTENIDO DE ARCILLA ENTRE (0-25,0) % Y DE MATERIA ORGÁNICA ENTRE (0-10,0) %	67
TABLA 21: DATOS TOXICOLÓGICOS DEL ARSÉNICO	73

TABLA 22: NIVELES DE ARSÉNICO ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) MUESTREADOS EN LOS RÍOS, PÁRAMOS Y FUENTES SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE CUENCA Y EN LOS RÍOS Y REDES DOMICILIARIAS DE LA CIUDAD DE AZOGUES; EN LOS DOS DIFERENTES CAUDALES.	89
TABLA 23: RESULTADOS DE LA NORMALIDAD DE DATOS EN CAUDAL ALTO	92
TABLA 24: RESULTADOS DE LA NORMALIDAD DE DATOS EN ÉPOCA DE CAUDAL BAJO	92
TABLA 25: CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA EN LOS SITIOS MUESTREADOS, SEGÚN ÉPOCAS DEL AÑO.....	94
TABLA 26: INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95% PARA EL NIVEL DE ARSÉNICO ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) POR LUGAR SOLO PARA LA ÉPOCA DE CAUDAL ALTO	96
TABLA 27: INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95% PARA EL NIVEL DE ARSÉNICO ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) POR LUGAR SOLO PARA LA ÉPOCA DE CAUDAL BAJO	97
TABLA 28: CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE LOS VALORES DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y EL NIVEL DE ARSÉNICO EN LA ÉPOCA CAUDAL ALTO	101
TABLA 29: CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE LOS VALORES DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y EL NIVEL DE ARSÉNICO EN LA ÉPOCA DE CAUDAL BAJO	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DEL AGUA TOTAL EN EL PLANETA (FERNÁNDEZ, 2012)	20
FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RECURSO HÍDRICO EN ECUADOR (SENAGUA, 2010)	21
FIGURA 3: CICLO HIDROLÓGICO, TOMADO DE (ARKIPLUS, 2011)	22
FIGURA 4: RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE (CENTRO DE CAMBIO GLOBAL-UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE; STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE, 2009)	41
FIGURA 5: UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN POLÍTICO – ADMINISTRATIVA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TOMBAMBA (PESANTEZ, 2015)	42
FIGURA 6: SUBDIVISIÓN DE MICROCUENCAS DEL RÍO YANUNCAY (COCHA, 2009)	44
FIGURA 7: SUBCUENCA DEL RÍO TARQUI (PDOT TARQUI, 2015)	45
FIGURA 8: MAPA DE UBICACIÓN Y MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHANGARA (ORTEGA, 2012)	48
FIGURA 9: MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY (PROMAS, 2003)	50
FIGURA 10: SUBCUENCA DEL RÍO BURGAY. (TIMBE & TIMBE, 2012)	52
FIGURA 11: LOCALIZACIÓN DEL PÁRAMO DE QUIMSACOA (QUICHIMBO, Y OTROS, 2015)	54
FIGURA 12: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO (FUENTE AUTOR)	91
FIGURA 13: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO, SEGÚN NORMAS MÁXIMAS PERMITIDAS	100
FIGURA 14: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN FUNCIÓN DEL PH.	103
FIGURA 15: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	103
FIGURA 16: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD.	104
FIGURA 17: COMPORTAMIENTO DEL ARSÉNICO (MG/L x10 ⁻³) EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN FUNCIÓN DEL COLOR	104

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

María Eugenia Velasco Heras en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de Arsénico en fuentes de agua para consumo humano, en las ciudades de Cuenca y Azogues", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de noviembre de 2018



Bqf. María Eugenia Velasco Heras

C.I: 0103720702

Cláusula de Propiedad Intelectual

María Eugenia Velasco Heras autora del trabajo de titulación "Evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de arsénico en fuentes de agua para consumo humano, en las ciudades de Cuenca y Azogues", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 8 de noviembre de 2018



Bqf. María Eugenia Velasco Heras

C.I: 0103720702

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

- **TULSMA:** Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente del Ecuador.
- **mg/L:** Miligramos por litro
- **NTU:** Unidades Nefelométricas de Turbiedad.
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud
- **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización
- **ug/L:** Microgramos por litro
- **VLIR:** Convenio Interuniversitario de Cooperación entre las Universidades Flamencas de Bélgica y la Universidad de Cuenca
- **SENAGUA:** Secretaria Nacional del Agua del Ecuador
- **CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe
- **mg/kg:** Miligramos por Kilogramo
- **ng/m³:** Nanogramos por metro cúbico
- **ETAPA EP:** Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental
- **m.s.n.m:** Metros sobre el nivel del mar
- **Ha:** Hectáreas
- **Hm³:** Hectómetro Cúbico
- **PROMAS:** Programa para el Manejo del Agua y del Suelo
- **INHAMI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
- **MAE:** Ministerio del ambiente del Ecuador

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mi esposo Oscar, por estar conmigo en todo momento, sobre todo en aquellos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, gracias por tu ayuda y apoyo constante que no me dejó rendirme.

A mi madre Lucia por sus consejos día a día, mis hermanos Rodrigo y Cristina que me han apoyado siempre en mis proyectos.

María Eugenia

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial a mi directora de tesis Dra. Guillermina Pauta C. MSc. por sus enseñanzas y ejemplo en el campo de la investigación, su ayuda constante y su acertada dirección en este trabajo. Al personal de laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Un gran reconocimiento a mi cuñado Ec. Carlos Torres, quien aportó con sus conocimientos y apoyo total en el área estadística.

María Eugenia

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El problema existente es la probable presencia del Arsénico en el agua de los ríos, en el agua subterránea y en el agua de los páramos, los cuales constituyen ecosistemas valiosos y fuentes de abastecimiento para consumo humano; es decir la presencia de este elemento limita los usos del recurso, como agua de bebida para el ser humano, así como también en el riego de sembríos y bebida de animales (OMS, 2006).

El Arsénico en el agua proviene de su contacto con las estructuras geológicas (rocas sedimentarias y volcánicas) que tienen en su constitución este elemento, y que bajo determinadas condiciones pasan a la solución; pero también es debido a la contaminación de origen industrial y agrícola.

En la mayoría de las ciudades de nuestro país, entre ellas Cuenca y Azogues los sistemas de abastecimiento hacen uso de fuentes superficiales como ríos (Cuerpo de Ingenieros de los EEUU, 1998) y páramos (Eichstaedt, y otros, 2015), pero la cantidad de agua que se requiere para satisfacer una demanda cada vez más creciente, hace necesaria la explotación del agua subterránea como el último recurso disponible, y que de acuerdo a la evidencia encontrada el agua bajo tierra puede tener altos niveles de Arsénico (Kapil Dev, y otros, 2013), siendo indispensable realizar estudios de calidad que ponga énfasis en las sustancias que se consideran indeseables, y proyectar la posibilidad de su uso en el abastecimiento, así como los costos de su potabilización.

Es importante indagar la presencia de Arsénico en las zonas de estudio, ya que a más de afectar el abastecimiento humano, el riego de sembríos y la bebida de animales, lo que permite su retorno nuevamente al ser humano que los consume, perturba el ecosistema. Esto tiene una gran relevancia y por eso la normativa TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Medio Ambiental) fija como límite máximo para la

preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios un valor de 0,05 mg/L; el límite máximo permisible para la calidad de agua para riego agrícola, es de 0,1 mg/L y para uso pecuario de 0,2mg/L.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Determinar la concentración de Arsénico y el riesgo toxicológico para consumo humano, en el agua de algunas fuentes de abastecimiento de las ciudades de Cuenca y Azogues.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de Arsénico en los ríos Tarqui, Yanuncay, Machángara, Tomebamba; en los pozos de extracción de agua subterránea ubicados en la Universidad de Cuenca y en los páramos de Quimsacocha, en la ciudad de Cuenca; en los ríos Burgay y Tabacay y en algunas redes domiciliarias abastecidas por estos ríos, en la ciudad de Azogues; y comparar con los valores máximos permitidos por la normativa ecuatoriana TULSMA
- Determinar algunos parámetros de calidad físico-química de las fuentes, para prevenir algunas situaciones de riesgo.
- Evaluar el riesgo toxicológico y el efecto ecotoxicológico de las fuentes de abastecimiento que presenten Arsénico.

1.3 HIPOTESIS

Si la concentración de Arsénico en el agua de las fuentes de abastecimiento de las ciudades de Cuenca y Azogues, estarían por encima de los valores máximos permitidos por la normativa ecuatoriana TULSMA, entonces existiría un riesgo toxicológico para el consumo humano.

1.4 JUSTIFICACION

La presencia del Arsénico en el agua es un problema debido a que se trata de una sustancia tóxica, catalogada por la OMS como una de las diez más peligrosas (OMS, 2006). La importancia de su búsqueda, deriva del hecho de que al consumir agua contaminada con Arsénico a través del abastecimiento, puede producirse una intoxicación crónica, con efectos a largo plazo y con repercusión en la salud de los consumidores. Algunas enfermedades como el cáncer de próstata, cáncer de riñón, el nacimiento prematuro, la presión arterial, la diabetes, entre otros, están vinculados a su presencia (Amberg, y otros, 2017); (Barnwal, Geen, Goltz, & Singh., 2017); (Bulka, Jones, Turyk, & Maria, 2016); (Saint-Jacques, y otros, 2017); (Taehyun, Weyerc, Wang, & Ludewig, 2016); el Arsénico es un reconocido elemento cancerígeno, y por eso la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 establece como concentración máxima permisible en el agua potable, de 10 ug/l, una de las concentraciones más bajas de los elementos vigilados (INEN, 2014).

En la ciudad de Cuenca, se lleva a cabo la actividad minera a nivel de “exploración”; las concesiones realizadas hasta el momento, afectan el páramo de Quimsacocha, donde nacen los ríos Portete e Irquis, que forman parte de la cuenca del río Tarqui; es posible que debido a la naturaleza del suelo, el Arsénico se haga presente en el agua (Bonilla, Agua y minería en el Quimsacocha, 2013); los resultados de esta investigación servirán para la implementación de políticas públicas orientadas a la protección de la salud de la población.

Se trata entonces de un problema de salud pública que debe ser identificado, entendido y resuelto, para garantizar el consumo de agua segura.

Por lo tanto, se plantea la hipótesis: “si la concentración de Arsénico en el agua de las fuentes de abastecimiento de las ciudades de Cuenca y Azogues, estaría por encima de los valores máximos permitidos por la normativa ecuatoriana TULSMA, entonces existiría un riesgo toxicológico para el abastecimiento humano”; la misma que debe

responder las siguientes interrogantes: ¿la concentración de Arsénico en las fuentes de abastecimiento: ríos, páramos y pozos, superarían los valores máximos permitidos por la normativa ecuatoriana TULSMA?; ¿en las fuentes de abastecimiento: ríos, páramos y pozos, algunos parámetros de calidad físico-química del agua, estarían correlacionados con la concentración de Arsénico?; ¿las fuentes de abastecimiento: ríos, páramos y pozos, que presenten Arsénico, implicarían un riesgo toxicológico para el consumo humano?.

La hipótesis y las interrogantes planteadas, responden a la situación real de que muchas comunidades sobre todo a nivel rural, hacen uso directo del agua, solamente aplicando algún sistema de desinfección, por lo que el Arsénico de estar presente es ingerido a través del abastecimiento; así entonces, esta investigación proporcionará información respecto a la calidad de las fuentes de agua destinadas a consumo humano, tanto de las superficiales ya en proceso de explotación, como de las subterráneas que constituyen las reservas poco estudiadas en nuestra zona; a su vez se podrá identificar las fuentes de mayor riesgo sujetas a observación, así como plantear mecanismos para su remoción.

La ubicación de las estaciones de monitoreo, así como los análisis correspondientes, se realizaron en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y forma parte del Proyecto de Investigación VLIR “Manejo Integrado de la Calidad del Agua”, cuyo objetivo es el control de la contaminación de los cuerpos receptores integrantes de la cuenca del río Paute.

CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL AGUA

El agua es la sustancia más importante e indispensable para la vida, se identifica por tener una estructura química sencilla constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, los cuales están unidos mediante enlaces polares que le permiten



establecer puentes de hidrógeno con otras moléculas, esta característica es la que le confiere propiedades físicas, químicas y biológicas únicas en su molécula. (Carvajal & González, 2003)

El agua es un recurso que ocupa más del 70 % de la superficie terrestre, se encuentra en: océanos, lagos, ríos, aire, suelo, etc. Se puede definir como fuente y sustento de la vida ya que favorece a la regulación del clima en el mundo y con su fuerza modela la Tierra. Tiene características únicas ya que puede ser utilizada como un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y la propiedad de expandirse cuando se congela (Fernandez, 2012).

En los océanos se encuentra el 97,5% del agua total del planeta, la cual es agua no potable; solo el 2,5% del agua restante es dulce y está distribuida de la siguiente manera: los glaciares y cascos polares tienen el 80% del agua dulce del planeta, el agua subterránea tiene el 19% y el agua superficial solo el 1% del agua dulce (ubicados principalmente en lagos, ríos y humedales). Esto se puede apreciar en la figura 1 tomado de (Fernandez, 2012) "El agua un recurso esencial".

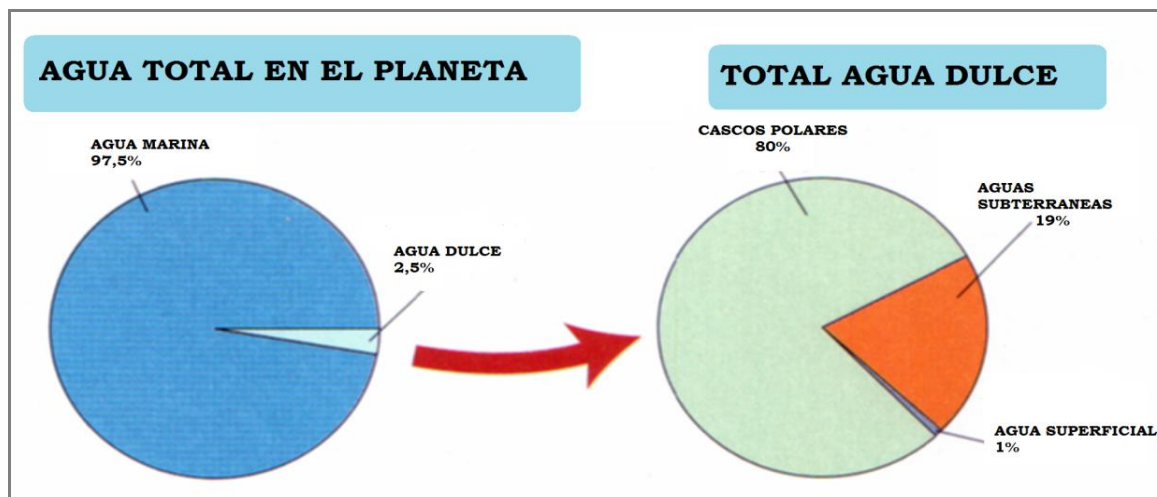


Figura 1: Distribución del agua total en el planeta (Fernández, 2012)

2.1.1 Importancia del agua y su distribución en el Planeta

El agua, a pesar de tener una estructura química tan simple, es una sustancia de características únicas e importantes; sin ella la vida sería imposible ya que los organismos vivos están compuestos por una gran cantidad de agua; como en los mamíferos los cuales contienen un porcentaje del 45 al 70% de agua, en cambio otros organismos necesitan un mayor porcentaje como es el caso de las medusas donde el agua constituye el 95% de su cuerpo (Banús, 2010).

En distintas regiones del planeta la distribución natural del agua es muy diversa ya que depende de la época del año; el continente americano concentra el 47% del agua mundial, Asia tiene el 32%, Europa 7%, África 9%, Australia y Oceanía el 6% del agua restante.

Los diferentes ecosistemas y biomas del mundo se distribuyen de acuerdo a la cantidad de agua en cada territorio; así en regiones lluviosas con temperaturas altas se ubican los bosques tropicales húmedos, mientras que en regiones menos lluviosas se ubican los bosques subhúmedos y en regiones de climas secos y temperaturas extremas se encuentran los desiertos (Carabias & Landa, 2005).

En el Ecuador, la distribución espacial del recurso hídrico, muestra que el mayor porcentaje se presenta en la región amazónica (con el 4% de la población nacional) donde se concentra el 88% del agua, mientras que en la sierra y costa que tienen la mayor parte de la población, la cantidad de agua depende principalmente de la estación lluviosa como se explica en el siguiente figura:

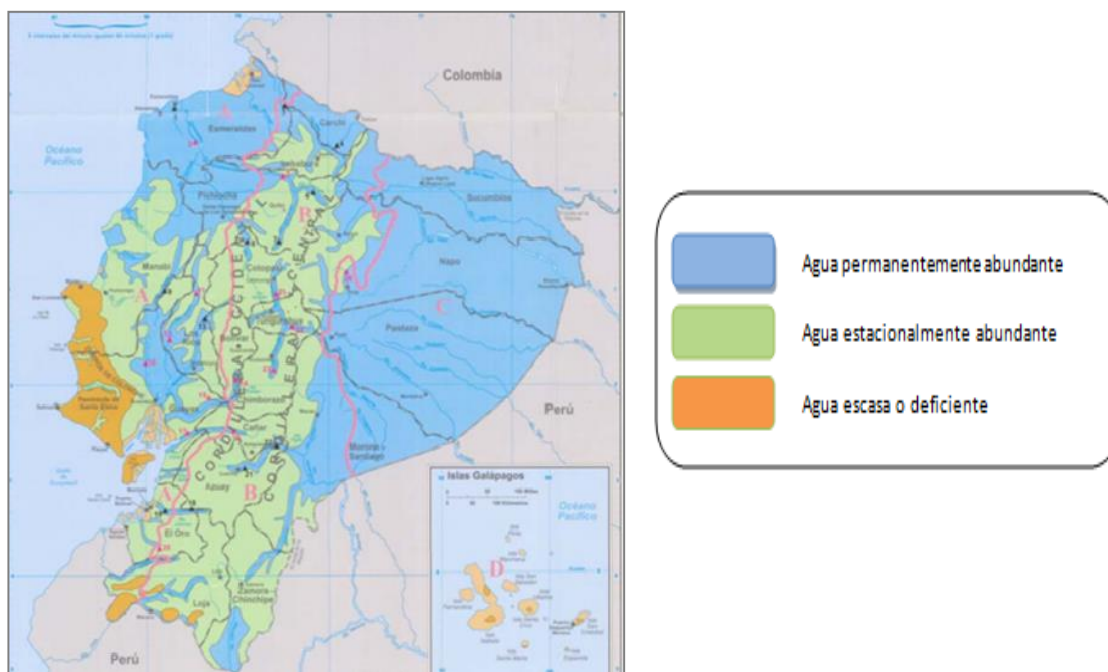


Figura 2: Distribución espacial del recurso hídrico en Ecuador (SENAGUA, 2010)

2.1.2 Ciclo Hidrológico

El agua del planeta que se encuentra acumulada en la atmósfera, océanos, lagos, ríos, suelos, glaciares, y aguas subterráneas; se puede trasladar de un depósito o reservorio a otro a través de diferentes procesos como: evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, escorrentía, infiltración, sublimación, transpiración, fusión y flujo subterráneo (Ordoñez J. , 2011).



Figura 3: Ciclo Hidrológico, tomado de (Arkiplus, 2011)

Los océanos y mares aportan la mayor parte del agua como producto de la evaporación; de esta agua evaporada, el 91% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación, mientras que el 9% restante se transporta a las zonas continentales donde se deposita como precipitación y se transporta nuevamente a los océanos por medio de la escorrentía (Ordoñez J. , 2011).

2.1.3 Usos del agua

Se define al uso del agua como la aplicación de esta a una actividad o propósito específico. Cuando existe consumo, entendido como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado, se trata de un uso *consuntivo* como por ejemplo: para el abastecimiento público, uso agrícola, uso industrial, termoeléctricas, etc.; pero existen otros usos que no consumen agua como: la generación de energía eléctrica, navegación, actividades recreativas, etc., a estos usos se les denomina *no consuntivos* (CONAGUA, 2010).

“En el Ecuador, según la base de datos de concesiones de SENAGUA publicada en el año 2011, en las demandas sectoriales, el uso consuntivo predominante en el país es el agrícola, pues representa el 80% del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico

(13%) y la industria (7%). Mientras que el uso no consuntivo más importante en Ecuador es la generación de energía eléctrica, pues este sector utiliza el 53% del caudal de agua total y la energía hidroeléctrica representa el 48% de la energía generada en el país” (CEPAL, 2012).

2.1.4 Fuentes de abastecimiento de agua

En nuestra localidad, las fuentes que se utilizan para el abastecimiento humano, provienen fundamentalmente de cuerpos superficiales, como ríos, páramos, lagos, etc.; el principal problema de estas fuentes, constituye la variación de la calidad en función de la estación climatológica; en época de invierno, cuando se producen las lluvias, se modifican sus características físicas, como el color y la turbiedad, por lo que en la mayoría de los sistemas de abastecimiento el tratamiento implementado está encaminado a la corrección de las propiedades físicas y bacteriológicas, para garantizar una agua segura.

Estas fuentes paulatinamente se han agotado, quedando muy pocas disponibles; por lo que es necesario acudir a la búsqueda de agua subterránea, la cual por su naturaleza, presenta características físicas aceptables, pero las características químicas pueden ser objetables, debido al alto contenido de sales y a la posible presencia de tóxicos como el Arsénico y otros derivados de condiciones naturales o antropológicas.

“Se puede definir como aguas subterráneas a aquellas que se encuentran bajo la superficie de la tierra y que generalmente se acumulan en acuíferos, que son formaciones geológicas donde se almacena y circula el agua aprovechando la porosidad, la filtración y la figuración de la roca. Cuando el volumen de agua que se

almacena bajo tierra es considerable y claramente diferenciado recibe el nombre de masa de agua subterránea” (Agencia Catalana del Agua, 2017).

Las aguas subterráneas poco a poco están siendo consideradas como un recurso nuevo para el abastecimiento de la población ya que el uso de fuentes superficiales se está terminando.

2.1.5 Calidad del agua

Desde un punto de vista funcional, se puede entender como calidad del agua a su capacidad para satisfacer las expectativas de los usos que se podrían obtener de ella. Y desde un punto de vista ambiental, como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y que cumpla determinados objetivos de calidad, en este caso calidad ecológica (CEH , 2000).

La calidad del agua está especificada por sus características físico-químicas y microbiológicas adquiridas a través de los diferentes procesos naturales como: disolución de componentes minerales de las rocas, suelos, presencia de materia orgánica, etc., y por factores antropogénicos debido a los usos socioeconómicos del recurso, como la actividad industrial, agrícola, cerámica, curtiembre, colorantes, metalurgia, etc.; con el vertido de los residuos se aporta a las fuentes de agua: metales pesados, Arsénico y otros contaminantes, que poco a poco modifican significativamente la calidad del agua (Galvao & Corey, 1987).

2.1.6 Parámetros físico-químicos del agua

Los parámetros de calidad de diferentes tipos de agua se establecen a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. Estos parámetros dan una información detallada y extensa de la naturaleza de un cuerpo de agua, ya que por lo general los análisis físico-químicos del agua suelen ser

rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007). Para el presente estudio, son de importancia los parámetros que se describen a continuación:

Color: El color del agua puede tener origen orgánico o inorgánico pudiendo ser ocasionado por la presencia de iones metálicos como hierro, manganeso, humus, lodo, arcilla, residuos industriales; el color debe ser eliminado del agua para consumo humano.

Se puede diferenciar dos tipos de color:

- **Color Aparente:** Es el color del agua causado por la materia suspendida y disuelta, para su determinación no es necesario filtrar la muestra.
- **Color Real:** Es el color del agua cuya turbidez ha sido eliminada mediante un proceso de centrifugación o filtración.

Para la medición se necesita la escala *PLATINO-COBALTO* (*Pt-Co*), y se determina mediante el método colorimétrico; la unidad de color se define como el color producido por 1mg/L de Platino (Pt) en forma de ion cloroplatinato (Giraldo, 1995).

Turbiedad: “La turbiedad del agua se origina por la presencia de partículas insolubles como: arcilla, limo, materia mineral, partículas orgánicas de diferente origen, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua. Para la determinación de este parámetro se utiliza el método Nefelométrico” (Aurazo, 2004).

pH: La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua ya que juega un papel muy importante en todos los procesos de tratamiento del agua para consumo humano, así como en el mantenimiento del ecosistema.

Se puede definir el pH como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrogenión presentes en una solución acuosa.

Las aguas naturales normalmente tienen valores de pH entre 4 a 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos (Giraldo, 1995).

Conductividad: Es la propiedad que presentan las soluciones para conducir el flujo de una corriente eléctrica y depende principalmente de la presencia de iones, su concentración y la temperatura de medición.

La conductividad de una solución es lo inverso de su resistencia y se expresa en unidades de Siemens/cm (S/cm).

En las aguas naturales, la conductividad permite describir las variaciones de los sólidos disueltos cuando se producen las descargas de efluentes, en la industria se emplea para conocer el grado de corrosión del agua de calderas y la eficiencia de las mismas (Giraldo, 1995).

Por su naturaleza las aguas superficiales suelen presentar valores bajos de conductividad, especialmente las aguas de páramos; en cambio las fuentes subterráneas debido a su mayor tiempo de contacto con las rocas, presentan conductividades elevadas, por procesos de disolución de minerales.

Temperatura: La temperatura es uno de los parámetros físicos de gran importancia para el desarrollo de las diversas actividades que se efectúan en el agua. Por ejemplo, en la solubilidad de los gases (oxígeno) y de las sales, así como en las reacciones biológicas, las cuales tienen una temperatura óptima para poder realizarse (Rodríguez, 2009).

2.2 EL ARSENICO

2.2.1 Origen y abundancia

El Arsénico fue descubierto en el siglo XIII por Alberto Magno, sin embargo se cree que se utilizó mucho antes como aditivo del bronce para dar un acabado lustroso.

Posteriormente fue Paracelso (1493-1541) quien lo introdujo en la ciencia médica. En el siglo XV Pedro Ábano, describe por primera vez sus efectos tóxicos, por lo que posteriormente su uso quedó en manos de charlatanes, brujos y para exterminar a enemigos de forma ilegal (Mencias & Mayero, 2006); (Bataller, 2004).

El Arsénico puede estar unido a distintos compuestos, por ejemplo, cuando se encuentra combinado con elementos como el oxígeno, cloro y azufre se conoce como *Arsénico inorgánico*; mientras que combinado con carbono e hidrógeno se conoce como *Arsénico orgánico* (ATSDR, 2016).

El Arsénico se transfiere al ser humano a través de los alimentos como: cereales, mariscos, carnes y algas y por supuesto a través del agua; el Arsénico inorgánico es altamente tóxico y cancerígeno, mientras que el Arsénico orgánico es menos tóxico ya que se excreta con mayor facilidad pero tiende a acumularse en tejidos y órganos produciendo toxicidad crónica (ELIKA, 2013).

El Arsénico en el medio ambiente está ampliamente distribuido; en la Tabla 1 tomada de Castelo (2015) en su tesis denominada Determinación de Arsénico y Mercurio en agua de consumo del cantón Rumiñahui por espectrofotometría de Absorción Atómica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se observa esta distribución (Castelo, 2015).

Tabla 1: Concentración de Arsénico en el medio ambiente

MEDIO	CONCENTRACIÓN
Aire	1,15 - 53 ng/m ³
Lluvia	0,46 ug/L
Ríos	0,20 – 264 ug/L
Lagos	0,38 – 1000 ug/L
Agua Subterránea (Pozos)	1,0 – 1000 ug/L
Agua Marina	0,15 – 6 ug/L

Suelo	0,1 – 1000 mg/kg
Sedimentos de Ríos	5,0 – 4000 mg/kg
Sedimentos de Lagos	2,0 – 300 mg/kg
Rocas Ígneas	0,3 – 113 mg/kg
Rocas Metamórficas	0,0 – 143 mg/Kg
Rocas Sedimentarias	0,1 – 490 mg/Kg

Fuente Castelo Miguel, 2015.

2.2.2 Propiedades del Arsénico

El Arsénico es un elemento químico del grupo de los metaloides con número atómico 33, está presente en la naturaleza en forma natural o procedente de fuentes antropogénicas; se presenta en tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. En las aguas se presenta en cuatro estados de oxidación: Arsina (As -3), Arsénico metaloide (As 0), Arsenito (As +3) y Arseniato (As +5); de las cuales sus formas químicas inorgánicas (As +3) y (As +5) o la combinación de ambos, son más tóxicas comparadas con el Arsénico orgánico. La principal fuente de exposición humana al Arsénico es la ingesta de alimentos y agua. (AECOSAM, 2016); (INSHT, 2011).

2.2.3 Usos del Arsénico y fuentes de contaminación

La presencia de agua contaminada por Arsénico adquiere mayor trascendencia en regiones con una importante actividad agrícola y ganadera, ya que el agua no sólo es utilizada para el abastecimiento de núcleos de población sino también como agua de riego y para bebida del ganado.

Actualmente, casi el 90% del Arsénico que se produce es usado como preservante de madera, para que ésta no se deteriore o se pudra. El preservante es el Arseniato cromado de cobre (CCA) y a la madera tratada se le refiere como madera presurizada (Wottiiz & Moreno, 2011).

“En el pasado, los compuestos inorgánicos de Arsénico se usaron predominantemente como plaguicidas, sobre todo en cosechas de algodón y huertos frutales. Al presente, los compuestos inorgánicos de Arsénico no se pueden usar en la agricultura; sin embargo, los compuestos orgánicos de Arsénico, específicamente el ácido cacodílico, el arsenato de metilo bisódico (DSMA) y el arsenato de metilo monosódico (MSMA), aun se usan como plaguicidas, principalmente en algodón. Algunos compuestos orgánicos de Arsénico se usan como suplementos en alimentos para animales. Cantidades pequeñas de Arsénico metálico se agregan a otros metales para formar mezclas de metales o aleaciones con mejores características físicas. El uso más extenso de las aleaciones de Arsénico es en baterías para automóviles. Otro uso importante de los compuestos de Arsénico es en semiconductores y en diodos que emiten luz” (ATSDR, 2007).

Los procesos que pueden dar lugar a una contaminación natural del agua por Arsénico son muy variados:

- Áreas geotermales
- Regiones volcánicas
- Acuitardos o niveles de arcillas, intercalados en acuíferos detrítico que contienen minerales con Arsénico
- Acuíferos que contienen óxido de hierro y manganeso, con fuerte afinidad por el Arsénico (Ruelas, 2014)

2.2.4 Toxicidad y Ecotoxicidad

Toxicidad del Arsénico: “La dosis tóxica de Arsénico inorgánico en el adulto es de 0,5 mg/Kg y la potencialmente mortal es de 2-3 mg/Kg, aunque existe una gran variabilidad individual. La dosis letal en humanos varía entre 1,5 mg/Kg de peso



corporal (trióxido de diArsénico) y 500 mg/Kg de peso corporal (ácido dimetilarsínico)” (Suarez, Gonzalez, Rubio, & Hardisson de la Torre, 2004).

El Arsénico con número CAS 7440-38-2 ha sido clasificado por la IARC (Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer) como cancerígeno para el ser humano del grupo 1. Las principales vías de entrada al organismo son el sistema respiratorio y el tracto gastrointestinal alcanzando en este último un 95% de absorción de compuestos arsenicales, mientras que por la vía dérmica solo alcanza un 2% de absorción (USEPA; IRIS; OMS, 2011); (OPS, 1997); (ATSDR, 2007).

Las intoxicaciones por compuestos de Arsénico pueden ser de dos tipos: agudas que producen enfermedades gastrointestinales y nerviosas y/o crónicas que ocasionan lesiones en la piel, mucosas, alteraciones hematológicas, hepáticas y cardiovasculares, dependiendo de la dosis y el tiempo de exposición. Estudios epidemiológicos y experimentales han demostrado la relación del arsenismo crónico con efectos cancerígenos y teratógenos (Galvao & Corey, 1987); (Torres & Quintero, 2010).

Efecto Ecotoxicológico del Arsénico: La ecotoxicidad se refiere a los efectos tóxicos que las sustancias químicas y los agentes físicos ocasionan sobre los organismos vivos, especialmente sobre poblaciones, comunidades, animales y plantas, dentro de ecosistemas definidos; esto mediante el uso de datos existentes, tomados del ambiente o mediante el desarrollo de ensayos específicos (Butler, 1978).

El Arsénico es un elemento de gran importancia ecológica debido a su toxicidad, persistencia y bioacumulación, la presencia de este metaloide en fuentes de agua es una amenaza potencial para los ecosistemas acuáticos ya que produce “estrés

oxidativo” debido a un desequilibrio de la homeostasis pro-oxidante y antioxidante causado por su toxicidad (Ventura-Lima, Bogotá, & Monserrat, 2011).

El consumo durante periodos prolongados de agua rica en Arsénico puede resultar muy peligroso para la salud humana. En poblaciones que ingieren agua potable contaminada por Arsénico se han observado efectos adversos tales como cáncer de piel, lesiones dérmicas, neuropatías y vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro"); así como diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, hígado y vejiga) (Ruelas, 2014).

Además, el Arsénico puede reaccionar con grupos tioles proteicos y no proteicos ocasionando modificaciones estructurales, e inactivaciones enzimáticas; también induce la generación de especies reactivas de oxígeno que están implicadas en mecanismos de apoptosis y carcinogenicidad inducida por Arsénico (Mardirosian, 2015).

Los efectos causantes de la fitotoxicidad del Arsénico son hasta la fecha desconocidos en muchos aspectos, aunque en los últimos años han sido estudiados e identificados algunos de ellos, entre los principales efectos ecotoxicológicos del Arsénico en las especies vegetales tenemos los siguientes:

- Efectos visuales: La reducción del crecimiento es uno de los efectos visuales más notorios que se atribuyen al Arsénico ya que como arseniato o como arsenito provocan la reducción del crecimiento en especies vegetales (Moreno, 2010).
- Estrés Oxidativo: El Arsénico produce estrés oxidativo en las células vegetales, lo que es reflejado en un aumento de la concentración de malondialdehído (MDA) en tejidos vegetales, un metabolito producto de la peroxidación de lípidos de membranas biológicas (Moreno, 2010).



- Alteraciones Nutricionales: La nutrición de la planta se ve afectada debido a que el suministro de arseniato produce un descenso de los niveles de fósforo en las plantas ya que ambos utilizan el mismo transportador de membrana (Moreno, 2010).
- Inhibición de la Fotosíntesis: El Arsénico ocasiona disminución de los niveles de clorofila en las plantas debido a que inhibe la síntesis de este pigmento.
- Alteraciones metabólicas y Genéticas: El Arseniato altera el ciclo energético celular y las especies de As (V) y As (III) son mutanogénicas ya que dañan el genoma de las plantas (Moreno, 2010).

2.2.5 Arsénico y el agua. Los elevados niveles de Arsénico tanto en aguas superficiales como subterráneas, se deben a la existencia de depósitos naturales de Arsénico como zonas de actividad volcánica, ya que el agua que está en contacto con las rocas volcánicas acarrea altas concentraciones de Arsénico con ella; por otro lado, los depósitos de Arsenopirita (FeAsS) en los suelos constituyen otra fuente importante de Arsénico ya que suceden transformaciones de tipo químico y biológico que liberan el elemento en el agua; las aguas geotermales y geotérmicas también liberan Arsénico directamente en las fuentes de agua (Castelo, 2015).

La presencia del Arsénico en el agua, está controlado por tres factores importantes: la fuente primaria de Arsénico (geósfera); los procesos de movilización/retención de Arsénico en la interacción entre la fase sólida y la fase líquida; y el transporte de Arsénico como especie acuosa en el seno del agua (Ruelas, 2014).

El Arsénico (V), suele estar adsorbido a las superficies de minerales ricos en iones hidroxilo (OH^-), como en los óxidos e hidróxidos de hierro, magnesio y aluminio, debido a una fuerte afinidad formando complejos muy estables, de tal manera que en

condiciones moderadamente reductoras, la solubilidad del Arsénico puede ser condicionada por la disolución de estos oxihidróxidos (Mayorga, 2012).

Se afirma que las especies solubles de Arsénico en un sistema acuático natural, son controladas por la combinación de factores como: el potencial redox, el pH del agua, las reacciones de adsorción en la superficie mineral y la actividad microbiológica. Hay diferentes mecanismos de movilización de Arsénico en las aguas subterráneas; algunos autores indican que la naturaleza anóxica de algunos acuíferos reduciría el Arsénico (V) a Arsénico (III) y causaría la disolución del Arsénico porque el Arsénico (III) es adsorbido menos fuertemente por los oxihidróxidos; sin embargo, bajo condiciones oxidantes predominaría el Arsénico (V) y a valores altos de pH se movilizaría. El mismo estudio concluye que la disolución reductora de los oxihidróxidos y la reducción de Arsénico (V) a Arsénico (III), deben ser considerados como los más probables mecanismos para movilizar altas concentraciones de Arsénico en las aguas subterráneas de algunas regiones. Se indica también el efecto importante que ejerce el ion bicarbonato en el desplazamiento de los arsenitos y arseniatos adsorbidos sobre la ferrihidrita debido a la competencia por los sitios de adsorción (Mayorga, 2012)

En América Latina la presencia de Arsénico en las fuentes de agua para consumo humano se asocia principalmente con el volcanismo terciario y cuaternario que se desarrolla en la cordillera de los Andes, el cual ejerce influencia en algunos parámetros de calidad del agua en los cuales se puede observar un elevando pH, una alcalinidad variable, dureza baja, salinidad moderada, presencia de boro, flúor, sílice y vanadio (Castro de Esparza, 2006).

En Ecuador, el Arsénico natural está presente principalmente en aguas, suelos y sedimentos de origen volcánico ya que nuestro país se encuentra ubicado dentro del “Cinturón de fuego del Pacífico”, por lo que provincias como Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Imbabura y Tungurahua presentan niveles elevados de Arsénico en sus

afluentes de agua tanto geotermales como de aguas superficiales de varios ríos que se localizan en estas zonas (Castelo, 2015).

2.2.6 El Arsénico y la Industria Minera

Durante la fundición del Cobre en la minería y metalurgia se emite Arsénico a la atmósfera, por tal motivo las regulaciones son cada vez más exigentes; por otro lado el Arsénico también puede ser arrastrado desde los yacimientos de metales por la acción de cianuros o del drenaje ácido de minas, por lo cual es necesario atraparlo y eliminarlo de las aguas residuales para su correcta liberación al medio ambiente (Hernandez-Cruz, De Luna Cruz, Sanchez-Cruz, & Romero, 2015); (Williams, 2001).

2.2.7 Niveles de exposición y niveles máximos permitidos

Los límites máximos de contenido de Arsénico en productos alimenticios no están regulados por la Unión Europea; no obstante, en el marco estatal, existen diversas normativas que regulan el contenido máximo de Arsénico total para determinados alimentos y bebidas.

Como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 2: Valores de ingesta de Arsénico en diversos productos alimenticios

Productos Alimenticios	Contenidos Máximos	Referencia
Patatas fritas y productos aperitivos	0.5 ppm	Real Decreto 126/1989
Sal comestible	1 mg/kg	Real Decreto 1424/1983
Aguas de manantial envasadas	10 µg/l	Real Decreto 1798/2010
Aguas minerales naturales envasadas	10 µg/l	Real Decreto 1798/2010
Aguas preparadas envasadas	10 µg/l	Real Decreto 1798/2010
Materiales de colorantes para su uso en materiales poliméricos en contacto con alimentos	100 mg/kg	Real Decreto 847/2011

Fuente: Elika, 2013

En el Ecuador, se toma como referencia la normativa TULSMA y el Registro Oficial Reforma Noviembre 2015 para fuentes superficiales (ríos) y aguas subterráneas; y la normativa INEN 1108 para el agua potable del año 2014.

Tabla 3: Valores de Arsénico establecidos en la Normativa TULSMA y en el Registro Oficial Reforma Noviembre 2015 para fuentes superficiales (ríos) y aguas subterráneas.

Normativa Tulsma	Concentración Máxima
Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y domestico. (Registro oficial noviembre 2015).	0,1mg/L
Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. (Registro oficial noviembre 2015)	0,05mg/L
Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola. (Registro oficial noviembre 2015)	0,1 mg/L
Tabla 5: Criterios de calidad de agua para uso pecuario. (Registro Oficial Noviembre 2015)	0,2 mg/L
Tabla 5: Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0 - 10,0)%. (Norma TULSMA, Libro VI Anexo 1)	35 ug/L

Fuente: Normativa TULSMA, Libro VI Anexo 1; Registro Oficial Reforma Noviembre 2015.

Tabla 4: Valor de Arsénico establecido por la Normativa INEN 1108 para el agua potable.

NORMATIVA INEN 1108 AGUA POTABLE	Concentración Máxima
TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas: Arsénico	0,01mg/L

Fuente: Normativa INEN 1108, 2014

2.2.8 Antecedentes de contaminación con Arsénico en el Ecuador y otros países

Los recursos hídricos empleados para satisfacer las necesidades del consumo humano cada vez son más escasos, ya sea por el cambio climático que está afectando al planeta, como por la contaminación de origen natural y antropogénica en las fuentes de agua (Camacho, y otros, 2008).

“La exposición al Arsénico efectivamente es un problema de salud pública; son numerosas las poblaciones afectadas en todo el mundo y el Arsénico es considerado por varios organismos científicos, entre ellos la International Agency for Research on Cancer (IARC), como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de Arsénico en el agua de bebida y cáncer en la piel y estudios ocupacionales que relacionan la exposición al Arsénico y cáncer al pulmón” (Galetovic Carabantes & de Fernicola, 2003). Esto conlleva a señalar la importancia que tiene la presencia de Arsénico en el agua de bebida y su riesgo toxicológico que ocasiona.

“La evolución histórica de la toxicología del Arsénico está íntimamente unida al uso de este metaloide. Actualmente, las sustancias arsenicales se utilizan en la industria, en la agricultura y ganadería y en medicina. Por ello, las fuentes de exposición del hombre a este metal son diversas destacando la laboral, la alimentaria y la medicamentosa” (Suarez, Gonzalez, Rubio, & Hardisson de la Torre, 2004).

Se puede mencionar una gran variedad de estudios realizados acerca de la presencia de Arsénico en fuentes de agua destinadas para el abastecimiento del consumo humano, y la toxicidad que éste produjo a largo plazo en la población.



En un estudio denominado “Mecanismos que liberan Arsénico al agua subterránea de la Comarca Lagunera, estados de Coahuila y Durango, en México 2014 se puede comprobar que en esa zona los niveles de Arsénico son elevados; mediante estudios geoquímicos del agua subterránea y los sedimentos, se indica que el Arsénico está adsorbido en los óxidos de hierro, así como también se concluye que el mecanismo que controla la liberación del Arsénico de los sedimentos de cauce al agua subterránea es el pH, y a su vez la disolución de la calcita debido al intercambio catiónico entre el calcio y el sodio (Mejía, González, Briones, Cardona, & Soto, 2014). Se puede así notar como la presencia de Arsénico se relaciona con algunos de los parámetros de calidad del agua, principalmente con el pH.

“Según estudios realizados en las aguas de los pozos, norias y manantiales, del municipio de Zimapán, Estado de Hidalgo, México 2006 se corroboró que existía un incremento en el contenido de Arsénico rebasando los límites máximos permisibles por la Norma Oficial Mexicana. La determinación de Arsénico en las muestras de aguas se realizó por absorción atómica (AAS). En este estudio se utilizó el *Vicia faba* como un bioensayo para evaluar el daño genotóxico con la prueba de inducción de micronúcleos por exposición al agua de Zimapán, contaminada con Arsénico en células de raíces. Se utilizó como ensayo de control un agua de pozo de similares características del municipio de Pachuca, pero con contenidos de Arsénico por debajo de los límites de detección. Los resultados mostraron que el agua de esta región presenta altas concentraciones de Arsénico y que puede provocar efectos genotóxicos que se manifiestan por la inducción de micronúcleos en las células meristemáticas de raíces de tejidos vegetales sensibles” (Prieto Garcia & al, 2006).

En Antofagasta, Chile se analizó un caso clínico de carcinoma basoescamoso producido por exposición crónica a Arsénico ambiental en un trabajador de la zona; se detalla que el paciente presentó un bulto en su pierna izquierda que fue apegando, y



que provocó metástasis en el paciente; esta es una de las consecuencias producidas por la concentración de Arsénico a largo plazo (Cardenas, y otros, 2010).

El consumo de agua contaminada con Arsénico puede ocasionar lesiones en la piel, afecciones en el sistema nervioso, diabetes mellitus, esta última se evidencia en el estudio realizado en Durango, México denominado “Polimorfismo rs699780 del gen NOTCH2 como factor proinflamatorio y su asociación con diabetes tipo 2 en sujetos expuestos a agua contaminada con Arsénico” (Arias Peláez, 2016).

El Ecuador tampoco se ha visto libre de esta problemática mundial; la presencia de Arsénico ha afectado a sectores del país como es el caso de las parroquias de Guayllabamba y Tumbaco en el cantón Rumiñahui provincia de Pichincha; en donde se registraron niveles elevados de Arsénico en el agua potable en el año 2004; sus habitantes consumieron normalmente el agua por un tiempo indefinido, sin conocer que estaban ingiriendo un elemento altamente tóxico que pudo afectar su salud, por lo que se conformó un Comité pro Agua sin Arsénico (CPASA) el cual cuestionó a la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Quito EMAAP-Q encargada de la potabilización del agua el hecho de que no les comunicó sobre este gravísimo problema que acontecía (Castelo, 2015).

Se realizaron estudios en los que se demostró que los valores de Arsénico en la red de distribución de las parroquias de Guayllabamba y Tumbaco que son abastecidas por pozos y vertientes que presentaban concentraciones de Arsénico por sobre la norma ecuatoriana INEN; generaban una toxicidad aguda y toxicidad crónica en la población consumidora. (Castelo, 2015); (EMAAPQ, 2007)

“En el año 2007 el Consejo Metropolitano de Quito ordena realizar análisis de cabello en la población afectada de la parroquia de Tumbaco para enviarlos a Quebee-



Canadá. Se realizan 830 análisis, de los cuales 320 resultaron positivos para la contaminación por Arsénico” (García, 2012); (EMAAPQ, 2007).

Parroquia Sayausí, un 14% en la Parroquia San Joaquín y el 6% restante en el área urbana del Cantón Cuenca según el siguiente gráfico:

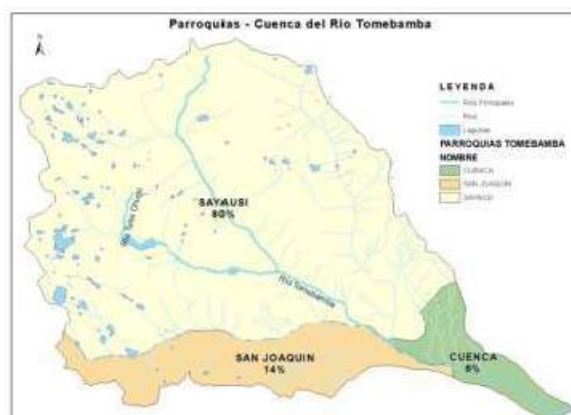


Figura 5: Ubicación y distribución político – administrativa de la subcuenca del Río Tomebamba (Pesantez, 2015)

Las temperaturas predominantes son de 4 a 8 °C en la zonas altas y 12 a 15 °C grados en las zonas bajas.

- **Geomorfología:** El relieve predominate en la subcuenca del río Tomebamba corresponde al relieve montañoso caracterizado por colinas redondeadas y anchas con pendiente longitudinal de entre 10 a 15° y altura de 25 a 50 metros, también hay formas alargadas y poco amplias con valles estrechos y escarpados en comunidades como: Marianza, Llulluchas, Bellavista, Corazón de Jesús, y San Miguel de la Parroquia Sayausí. (Pesántez, 2015)

En la zona de Soldados y Sustag predominan las colinas medianas como también en las zonas de Marianza, Llulluchas, Bellavista, y San Miguel.

- **Geología:** Las formaciones sobre las cuales actuaron los agentes geológicos son pre cretácicas, cretácicas, terciarias y cuaternarias constituidas por rocas metamórficas, ígneas, de cuencas sedimentarias y depósitos cuaternarios, de modo que las rocas más antiguas se ubican al oriente u occidente de la

subcuenca, las rocas ígneas se localizan en la cordillera occidental o en intrusiones y extrusiones puntuales, por último las rocas sedimentarias se ubican en la parte central de la subcuenca (Pesantez, 2015).

Tabla 5: Formaciones Geológicas existentes en la subcuenca del río Tomebamba

ERA	PERÍODO	FORMACIÓN GEOLOGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos Aluviales
		Depósito coluvial
		Terrazas aluviales
		Depósitos de piemonte (Tilitas)
		Depósitos Glaciares, morrenas
		Formación Tarqui (v)
	TERCIARIO	Formación Santa Rosa (Turi)
		Intrusión granodiorítica: la Josefina y Culebrillas
		Formación Saraguro
		Formación Célca

Fuente: PDOT Sayausí, 2011

3.1.2 Subcuenca del Río Yanuncay

La subcuenca del río Yanuncay nace en la vertiente interna de la cordillera occidental de los Andes, con una superficie de 418.88 km², nace a una cota de aproximadamente 4000 m.s.n.m, donde se ubican los humedales del Parque nacional “El Cajas” (ETAPA, 2007).

Las microcuencas más importantes del río Yanuncay son: Río Soldados, Río Bermejos, Río Yanuncay, Río Galán y Río Quimsacocha (Cocha, 2009).

El clima de esta subcuenca varía desde el templado hasta el frío presentando temporadas lluviosas durante los meses de marzo, abril y mayo; los climas secos predominan durante los meses de noviembre y diciembre con temperaturas que van desde los 10 hasta los 20°C (Cocha, 2009).

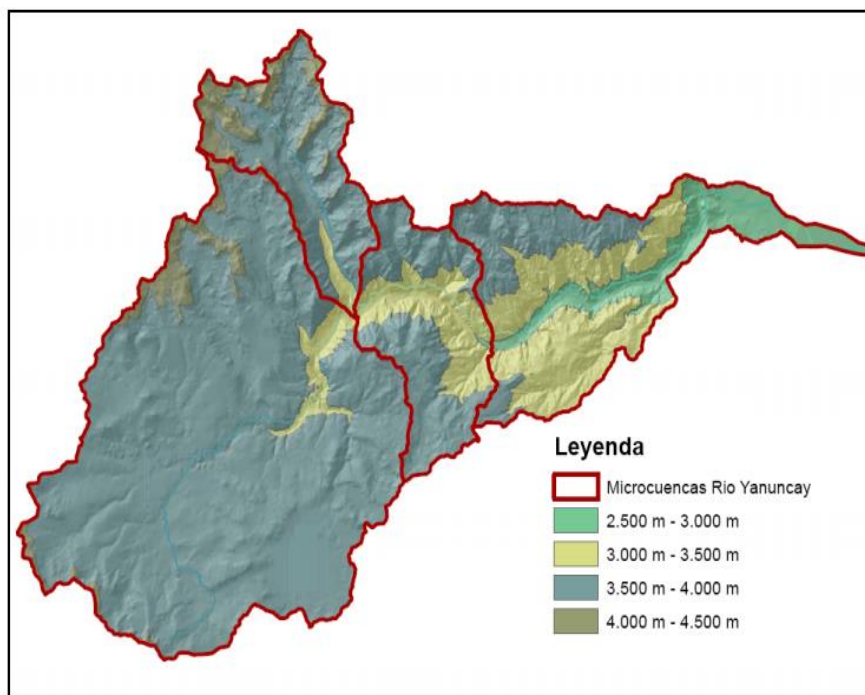


Figura 6: Subdivisión de microcuencas del río Yanuncay (Cocha, 2009).

- **Geomorfología y Geología de la Subcuenca:** El valle del Río Yanuncay presenta laderas con fuertes pendientes compuestas de rocas volcánicas masivas, alteradas y fracturadas cubiertas por coluviales de pie de ladera y suelos residuales; el fondo del valle es plano y estrecho donde está el asiento de depósitos de Terrazas originado por el río, también presenta conos aluviales producidos por pequeños riachuelos transversales; los cuerpos ígneos forman gargantas que cierran el valle constituyendo el cauce del río (Cocha, 2009).

Esta subcuenca presenta un área de bosque y vegetación protectora, relativamente pequeña de 4368 ha, que presenta la formación Yunguilla que se ubica por debajo de los 3300 m.s.n.m. donde se ubican terrenos ocupados para ganadería y cultivos (Cocha, 2009).

3.1.3 Subcuenca del Río Tarqui

La subcuenca del río Tarqui se forma gracias a la unión de los ríos Portete e Irquis los cuales nacen a una altura superior a los 3000 m.s.n.m. El valle de Tarqui está ubicado al suroccidente de la ciudad de Cuenca, es una llanura de topografía regular, rodeada de pequeñas elevaciones, con un uso de suelo dedicado para la ganadería gracias a las grandes extensiones de pastizales donde existen numerosas haciendas lecheras (Beltrán, Mendieta, & Vanegas, 2010).

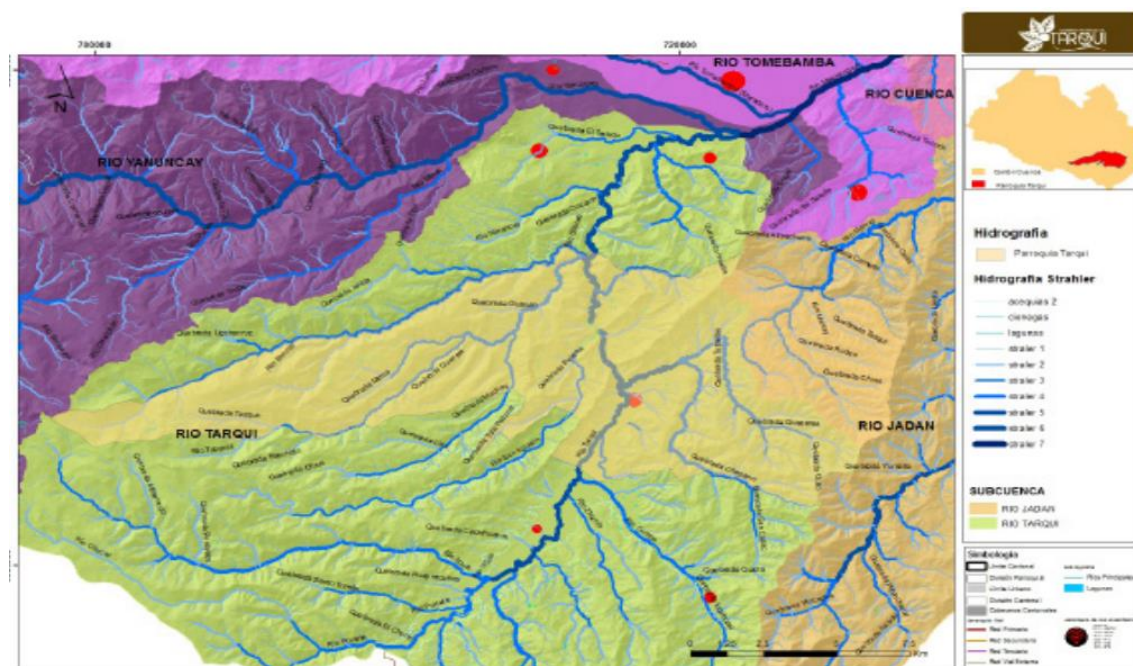


Figura 7: Subcuenca del Río Tarqui (PDOT Tarqui, 2015)

La zona de las microcuencas y subcuenca del río Tarqui están ubicadas en una zona de tres regiones bioclimáticas:

- Región de Páramo muy lluvioso, que se ubica a una altitud de 3200 m.s.n.m, en la que predominan los pajonales con una temperatura de 0 a 6°C.
- Región Lluvioso subtemperado, ubicada entre los 2800 y 3200 m.s.n.m., una zona donde predominan los bosques nativos con temperaturas de 6 a 12°C.

- Región muy Húmeda Templada, ubicada por debajo de los 2800 m.s.n.m, donde predominan los potreros con una temperatura de 12 a 18°C (Arévalo, 2006).

El resto del cauce del río está conformado por la zona urbana del cantón Cuenca, hasta la unión del río Tarqui con el Río Yanuncay.

- **Geomorfología de la Subcuenca:** La zona de páramo se caracteriza por sus enormes pajonales sobre los 3200 m.s.n.m. que protegen al agua del viento y de la transpiración por los rayos solares; Bajo la zona de paramo se ubica un variado bosque primario que conserva el agua lluvia ya que evita una escorrentía acelerada permitiendo que las microcuencas abastezcan de agua durante todo el año (Arévalo, 2006).

En el siguiente cuadro se pueden ver las áreas y porcentajes de cada uno de los relieves presente en la subcuenca del río Tarqui.

Tabla 6: Geomorfología de la Parroquia Tarqui

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (Has.)	PORCENTAJE (%)
Colinas Medianas	1.923,35	12,74
Relieve escarpado	1.051,67	6,97
Relieve montañoso	3.148,64	20,85
Superficies de aplanamiento	188,65	1,24
Terraza alta	418,69	2,77
Terraza baja	775,64	5,14
Vertientes convexas	226,27	1,50
Vertientes cóncavas	2.721,75	18,03
Vertientes irregulares	4.643,95	30,76
TOTAL	15.098,61	100,00

Fuente: PDOT Tarqui, 2015.

- **Geología de la Subcuenca:** Las formaciones geológicas predominantes en la subcuenca del río Tarqui son las siguientes:

Tabla 7: Principales Formaciones Geológicas del subcuenca del río Tarqui

ÉPOCA	FORMACIONES	ÁREA (Has.)	PORCENTAJE (%)
PIOCENO	Turi (300-1200m) Conglomerados, tobas, brechas	3.970,64	26,30
PALEOCENO-CRETÁCICO	Yunguilla(3000m) Lutitas, grauvacas, lavas	1.405,99	9,31
MIOCENO	Grupos Azogues, Chota, Ayancay (1500-300m) Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	2.828,40	18,73
PIOCENO-MIOCENO	Volcánicos Pisayambo (1000-2000) Andesitas, o riolitas, piroclastos	6.893,58	45,66
TOTAL		15.098,61	100,00

Fuente: PDOT Tarqui, 2015.

3.1.4 Subcuenca del Río Machángara

La subcuenca del río Machángara está ubicada al noroeste de la Ciudad de Cuenca y contempla las provincias de Azuay y Cañar con una altura entre los 2500 y más de 4000 metros sobre el nivel del mar, en una zona de características climáticas con temperaturas que van de los 4 °C en la zona alta hasta los 14 °C en la zona baja.

Esta Subcuenca abarca las parroquias de Checa, Chiquintad, Sinincay, Sayausí, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte, Sidcay, Jerusalén, Nazón, Turupamba, Cojitambo, Déleg, Javier Loyola, Solano; ocupando un territorio de aproximadamente 32.545 hectáreas, con una población aproximada de 70685 habitantes (Ortega, 2012).

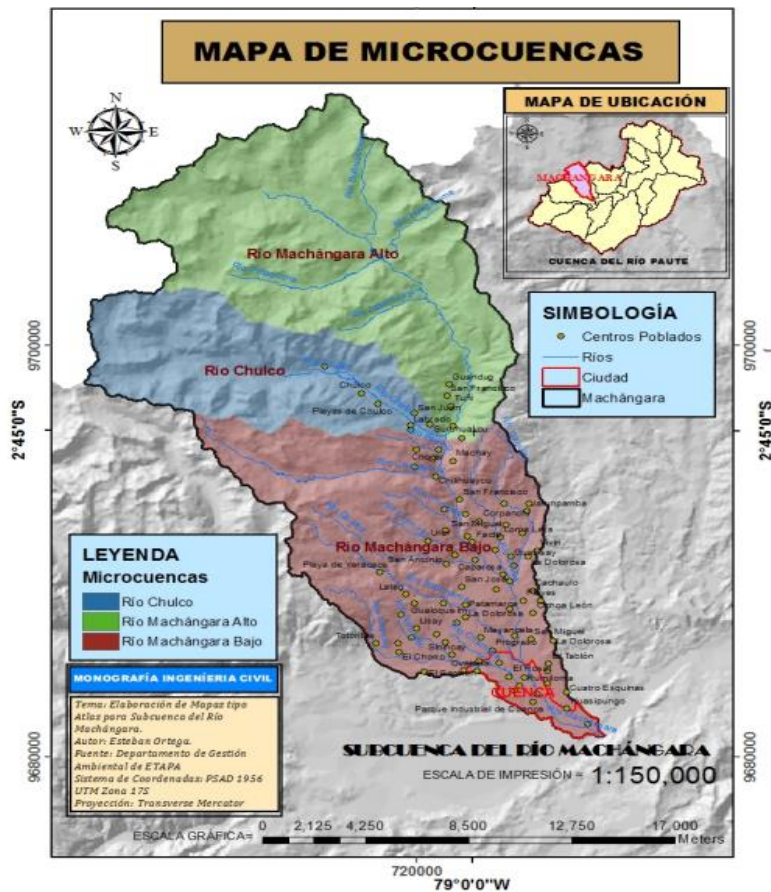


Figura 8: Mapa de ubicación y microcuencas de la subcuenca del Río Machángara (Ortega, 2012).

- **Geología de la Subcuenca:** La Subcuenca del río Machángara se encuentra mayormente conformada por la formación Tarqui, la misma que proviene de la era del cuaternario, del periodo del Pleitoceno. Esta formación se encuentra compuesta principalmente por toba, riolita, andesita, y en los encauzamientos de los ríos la presencia predominante de tilitas (Ortega, 2012).

Tabla 8: Descripción Geológica de la subcuenca del río Machángara

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA				
Símbolo	Descripción	Formación	Período	Era
gt	Tilita		PLEISTOCENO	CUATERNARIO
Da	Depósito Aluvial		HOLOCENO	CUATERNARIO
Kc	Andesita, n; toba, h	Célica	CRETÁCEO	MESOZOICO
Kc		Célica 2500m	CRETÁCEO	MESOZOICO PALEOZOICO
t	Terraza primera		HOLOCENO	CUATERNARIO
t	Terraza segunda			CUATERNARIO
t	Terraza tercera			CUATERNARIO
t	Terraza cuarta			CUATERNARIO
t	Terraza quinta			CUATERNARIO
Tv	Travertino		HOLOCENO	CUATERNARIO
PIR	Arenisac, a conglomerado, g lutitas, lu	Formación Sta Rosa. Grupo Ayancay	PLIOCENO	TERCIARIO
PIR	Conglomerado de base	Santa Rosa 500 m. Grupo Ayancay (M-PI)	PLIOCENO	TERCIARIO
Dc	Depósito Coluvial		HOLOCENO	CUATERNARIO
PT	Toba, h ; riolita, r ; andesita, n.	Formación Tarqui	PLEISTOCENO	CUATERNARIO
MM	Vetas de carbón	Formación Mangan 2200m Grupo Ayancay (M-PI)	MIOCENO	TERCIARIO
QLI	Volcánicos Llaeo			
PTU	Conglomerado de base	Formación Turi 0-200m	PLEISTOCENO	CUATERNARIO
MAZ	Localmente conglomerado de base	Formación Azogues 15 - 280m. Grupo Azogues	MIOCENO	TERCIARIO

Fuente: Ortega, 2012.

- **Geomorfología de la Subcuenca:** En la mayor parte de la subcuenca presenta un relieve escarpado ya que por ella atraviesa la cordillera de los Andes. También se debe mencionar que posee un porcentaje apreciable de relieve montañoso. El área urbana de la ciudad de Cuenca se encuentra dentro de la Subcuenca del Machángara con un área de 806.66 ha, es decir alrededor del 30 % de la subcuenca se ubica es en la zona urbana. En la parte Noroeste de la subcuenca, se puede apreciar la existencia de nieve, lo que nos indica que en dicha zona se encuentra la zona más alta (Ortega, 2012).

Una de las características más importantes de la subcuenca es, que en ella se encuentra los embalses del Labrado (presenta una reserva de agua de aproximadamente 6 Hm³) y el embalse de Chanlud (con 17 Hm³), los cuales se encuentran sobre los ríos Chulco y Machángara respectivamente que sirven para la generación de energía eléctrica; Además, de esta subcuenca se obtiene aproximadamente el 40% del agua potable para la ciudad de Cuenca (Ortega, 2012).

3.1.5 Subcuencas de los Ríos Burgay y Tabacay

Río Tabacay: La microcuenca del río Tabacay pertenece a la subcuenca del río Burgay, la cual pertenece a la cuenca del río Paute, posee una altitud que va desde los 2.490 a 3.730 m.s.n.m., sus principales afluentes son las quebradas: Llaucay, Nudpud, Cóndor Yacu, Rosario, Mapayacu y Rubís, la microcuenca tiene una superficie de 6.650 ha, pertenece administrativamente al Cantón Azogues y se ubica entre las parroquias de Guapán y Bayas (Urgiles, 2016).



Figura 9: Microcuenca del Río Tabacay (PROMAS, 2003)

La geomorfología de la microcuenca del Río Tabacay se divide en tres zonas:

- **Zona Alta:** Se caracteriza por la presencia de Páramo con remanentes de bosque nativo y chaparro, esta zona es muy poco poblada y sus habitantes viven de la ganadería y en menor escala de la agricultura.
- **Zona Media:** Esta zona es atravesada por pendientes muy pronunciadas donde prevalecen las plantaciones de pino y eucalipto, los pobladores de esta zona viven principalmente de la ganadería y del cultivo de maíz, papas, fréjol, y frutales.
- **Zona Baja:** Ubicada muy cerca de la ciudad de Azogues, esta zona ha experimentado un crecimiento poblacional desordenado, lo cual contribuye a la contaminación de las fuentes de agua (Molina, 2012).

En la Geología de la microcuenca del río Tabacay predomina las formaciones: Tarqui, Yunguilla, Guapán, Azogues, con depósitos aluviales, bentonita y travertino, el cual aporta grandes cantidades de caliza para la producción de cemento por empresas como la Industria Guapán (Urgiles, 2016).

Río Burgay: La subcuenca del río Burgay tiene una altura media de 2997 m.s.n.m., forma parte de la cuenca del Río Paute representando un 8.72% del área total, la temperatura en la subcuenca oscila entre 6 y 16 °C, con precipitaciones entre 792 a 1419 mm (Pauta, 2014).

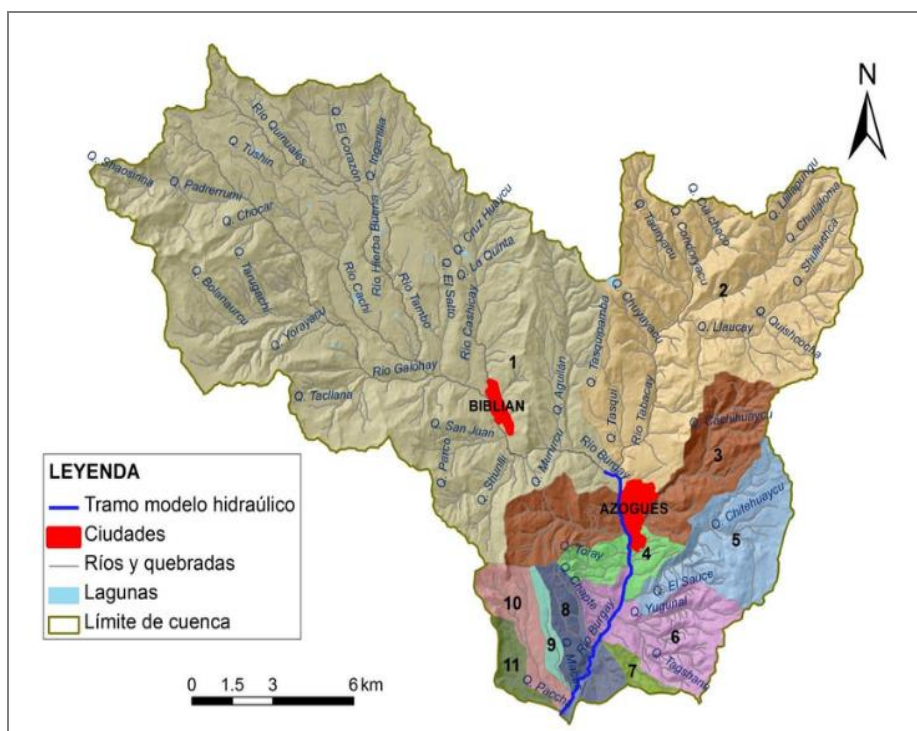


Figura 10: Subcuenca del Río Burgay. (Timbe & Timbe, 2012)

La Geomorfología de la Subcuenca del Río Burgay presenta una zona topográficamente escarpada de gran poder erosivo, como se representa en la siguiente tabla:

Tabla 9: Formaciones Geomorfológicas de la Subcuenca del Río Burgay

DESCRIPCION	AREA Ha
Colinas medianas	7879,711
Cuerpos de agua	8,190
Laderas coluviales	179,812
Nieve	180,126
Relieve escarpado	6707,835
Relieve montañoso	6770,462
Superficies de aplanamiento	220,072
Talud de derrubios	223,949
Valles Interandinos	773,385
Vertientes cónavas	9219,657
Zonas Urbanas	368,424

Fuente: Pauta, 2014

Las formaciones Geológicas de la Subcuenca del Río Burgay son variadas y se representan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Descripción Geológica de la Subcuenca del Río Burgay

FORMACION	LITOLOGIA	EDAD	AREA Km ²	%
F. Célica	Andesita	Cretáceo	3,76	0,81
F. Yunguilla	Argilita, Arsenisca Tobaceo, Toba	Cretáceo-Paleoceno	31,49	6,78
F. Tarqui	Aglomerado, Lava, Dacita	Cuaternaria	116,86	25,18
Depósito Aluvial	Deposito aluvial	Cuaternaria	12,48	2,69
Terrazas (1-3)	Terrazas (1-3)	Cuaternaria	5,24	1,13
Tablas de Gualaceo, Volcánicos de Llacao	Tablas de Gualaceo, Volcánicos de Llacao	Cuaternaria	25,07	5,40
Travertino	Travertino	Cuaternaria	1,57	0.34
Derrumbe	Derrumbe	Cuaternaria	16,84	3.63
Deposito coluvial	Deposito coluvial	Cuaternaria	9,60	2,07
Tilita	Tilita	Cuaternaria	19,66	4,23
U. Paute	Meta-Volcánicos de San Francisco	Jurasico	10,21	2,20
F. Biblian	Piroplásticos y Lavas Andesitas	Mioceno	34,15	7,36
F. Azogues	Bentomita localmente conglomerado, Lutitas	Mio-Plioceno	24,09	5,19
F. Turi	Bentomita localmente conglomerado de base	Plioceno	12,70	2,74
F. Mangan	Conglomerado	Terciario	55,80	12,02
F. Santa Rosa	Arenisca, Conglomerado, Lutitas	Terciario	44,40	9,57
F. Guapan	Bentomita Localmente conglomerado de base	Terciario	13,78	2,97
F. Loyola	Localmente Conglomerado de Base	Terciario	26.24	5,65
Granodiorita	Granodiorita	-----	0.21	0,05
Laguna	-----	-----	0.02	0,00

Fuente: Pauta, 2014

3.1.6 Subcuenca de los Páramos de Quimsacocha

El páramo del Quimsacocha está ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes ecuatorianos, está compuesto por valles y llanuras entre 2760 y 3960 m.s.n.m., una gran parte de su formación es de tipo volcánico; la formación Quimsacocha es una de las más recientes del sur de Ecuador y al parecer está ubicada dentro del cinturón Garamín cuya franja presenta depósitos de oro que se extienden por 80 km hasta la zona minera de Zaruma. (Bonilla, 2013).

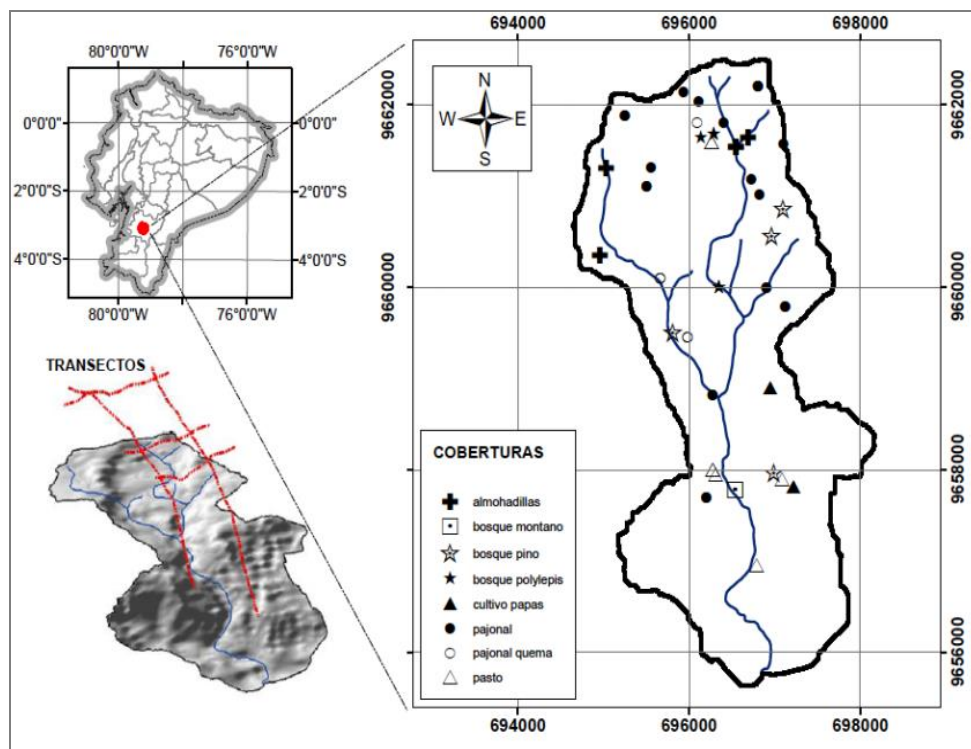


Figura 11: Localización del Páramo de Quimsacocha (Quichimbo, y otros, 2015).

El clima de esta microcuenca presenta temporadas importantes de lluvias, sobre todo desde el mes de Diciembre hasta Febrero, también presenta temporadas de lluvia menos frecuentes los meses de Agosto y Septiembre; la precipitación media anual es de 900 a 1600 mm (INHAMI 2008), la temperatura media mensual es de 6°C la cual es constante a lo largo del año (Quichimbo, y otros, 2015).

➤ **Geomorfología del Páramo de Quimsacocha:** La cobertura del suelo del páramo es relativamente no antropizada donde predominan los ecosistemas húmedos de altura con las siguientes características geomorfológicas (MAE, 2018):

- **Colinas Altas:** Presentan una topografía colinada arrugada, con una diferencia de altura relativa de 75-200 m., y una pendiente de 14-20 %. Las cuales constituyen la mayor unidad geológica dentro del páramo (MAE, 2018).

- **Llanura Subglaciar:** Ubicada especialmente en la parte sur occidental del páramo, presenta rocas pulidas, aborregadas, bosques erráticos, sedimentos lacustres y supraglaciares, céspedes, drumlins y morrenas (MAE, 2018).
 - **Relieves Montañosos:** Ubicada hacia el oriente de la zona, es la porción más pequeña del páramo, aquí se incluyen montañas cuya altura y forma se originan por el plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre, y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales (MAE, 2018).
- **Geología del Páramo de Quimsacocha:** El páramo de Quimsacocha presenta rocas superficiales de origen volcánico por la actividad del volcán Quimsacocha durante las eras del Pleistoceno y Holoceno, por lo cual se encuentran depositados diversos contenidos litológicos como: cenizas y polvo volcánico, rocas volcánicas de grano fino, material piroclástico y rocas granuladas compuestas de fragmentos de cuarzo y feldespato, estos componentes constituyen la Formación Geológica Tarqui que es la predominante en este páramo (MAE, 2018).

Tabla 11: Formaciones Geológicas del Páramo de Quimsacocha

Formación	Sigla	Descripción	Era	Superficie (ha)
Formación Tarqui	PT	Aglomerado, Lava, Dacita	Pleistoceno	2554,22
S/N	Da	Deposito Aluvial	Holoceno	601,71
S/N	De	Derrumbe	Pleistoceno	33,97
S/N	Lago	Lago	S/N	27,21
Total				3217,12

Fuente: MAE, 2018.

3.2 TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO

La investigación realizada es longitudinal y cuantitativa; se trata de un estudio descriptivo, en el cual se puede modificar una variable como el período estacional y observar el comportamiento de la variable estudiada y otras que pudieran modificarse.

3.3 POBLACION, MUESTRA Y CAMPAÑAS DE MUESTREO

Las estaciones de monitoreo en cada río son las mismas en donde se realizaron estudios de calidad del agua en años anteriores, dentro del Proyecto “Manejo Integral de la Calidad del Agua”, del Programa VLIR, con el apoyo de las Universidades Flamenca y en convenio con la Universidad de Cuenca.

Estas estaciones se indican en la siguiente tabla:

Tabla 12: Estaciones de monitoreo de los ríos

RIO	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	ESTACION 4	ESTACION 5	ESTACION 6	ESTACION 7
Tomebamba	Llaviuco	Sayausi	Puente del Vado	Puente de la Empresa Eléctrica	A.J. Milchichig	A.J. PTAR	Puente Chaullabamba
Yanuncay	Puente Dispensario del IESS Barabón	Barabón	San Joaquín	Puente Av. Loja	Tres Puentes	Puente Redondel de la UDA	Parque el Paraíso
Tarqui	A.J. Río Irquis	D.J. Río Cumbe	Río Tarqui	Zona Franca	D.J. Río Zhucay	Parque Inclusivo	A. J. Yanuncay
Machángara	Chiquintad	Ochoa León	Feria de Ganado	Parque Industrial	Redondel Gonzáles Suárez		
Burgay	Río Cachi	Río Burgay Origen	A.J. Río Tabacay	D.J. Río Tabacay	A.J. Río Deleg	D.J. Río Deleg	
Tabacay	Río Nudpud	Quebrada Monjas	Río Tabacay	Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	Río Burgay A.J. Tabacay sector Mercado	

Fuente: Autor.

Se realizaron dos monitoreos en cada río (Tomebamba, Yanuncay, Tarqui, Machángara, Burgay y Tabacay), uno en el mes de Agosto del 2017 en época de estiaje y otro en el mes de Noviembre del 2017 en época de lluvias, dando un total de 76 muestras de agua.

Tabla 13: Estaciones de monitoreo de los Páramos

PARAMO	Estación 1	Estación 2
QUIMSACOA	Río Bermejós, Soldados	Portete de Tarqui

Fuente: Autor.

En el páramo de Quimsacocha se realizaron dos monitoreos con dos estaciones. Un monitoreo en el mes de Agosto del 2017 y otro monitoreo en el mes de Noviembre del 2017, con un total de 4 muestras de agua.

Tabla 14: Estaciones de monitoreo de los Pozos de agua subterránea

POZOS DE AGUA SUBTERRANEA	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5
Estaciones en la Universidad de Cuenca	Junto a la Cafetería	Detrás del Comisariato	Junto al Laboratorio Clínico	Entrada principal a la Universidad	Junto a la Cancha del estadio de la Universidad

Fuente: Autor.

En los acuíferos se realizaron dos muestreos en cada pozo. Un muestreo en el mes de Agosto del 2017 y otro en el mes de Noviembre del 2017. Dando un total de 10 muestras de agua.

Adicionalmente se captaron 4 muestras en las redes domiciliarias, en sectores que se abastecen de fuentes en donde es posible la existencia de Arsénico; esto para interpretar el efecto ecotoxicológico que puede producirse por una potabilización deficiente.

El estudio contempló el análisis de 94 muestras en total.

En el **Anexo 1** se puede observar los puntos de monitoreo en los mapas respectivos.

3.3.1 Criterios de Recolección

La toma de la muestra se realiza en un envase de plástico transparente con tapa rosca de 2 litros de capacidad para los ensayos físico-químicos. La muestra es puntual, pero compuesta con alícuotas de tres muestras captadas simultáneamente en tres puntos consecutivos en la sección correspondiente del río.

Las muestras de ríos, páramo y pozos, se identificaron tal como lo establece el Standar Methods que dice textualmente: “Hay que hacer un registro de todas las muestras recogidas e identificar cada envase, preferiblemente pegando una etiqueta

debidamente señalada; registrando la información suficiente: nombre de la persona que captó la muestra, la fecha, la hora y la localización exacta; la temperatura del agua y cualquier otro dato que pueda resultar necesario para establecer una correlación” (APHA, 2010).

3.3.2 Tipos de Recipientes, Transporte y conservación

Una vez recolectadas las muestras se colocan en un cooler de plástico con tapa, se ubican bolsas pequeñas de hielo entre los envases de las muestras para mantener una temperatura alrededor de 4°C hasta que lleguen al laboratorio para su inmediato procesamiento (APHA, 2010).

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

3.4 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS FISICO-QUIMICOS

3.4.1 Calidad física–química del agua.

Se basó en el análisis de los siguientes parámetros: color aparente y color real; turbiedad, conductividad, temperatura, pH, y por su puesto el parámetro de mayor interés, el Arsénico.

Los parámetros mencionados excepto la determinación del Arsénico, constituyen parte del análisis rutinario del agua; se sigue la metodología indicada en la siguiente tabla de referencias y no es necesaria su descripción en el presente estudio.

Tabla 15: Técnicas de la metodología usada en los análisis físico-químicos

PARAMETRO	TECNICA	REFERENCIA
Color Real	Método Espectrofotométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2120 C.
Turbiedad	Método Nefelométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2130 B.
Conductividad	Método de Laboratorio	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2510 B.
pH	Método Electrométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500 B.

Fuente: (APHA, 2010)

3.4.2 Determinación química del Arsénico.

La cuantificación de este elemento se realizó utilizando un equipo analizador de Arsénico Modelo Arsenator Wagtech – Palintest, el cual contiene: un matraz graduado, un tapón con un filtro triple para Arsénico, filtros de eliminación de Sulfuro de Hidrógeno, un dispositivo con filtro de detección de color negro, un dispositivo con filtro de eliminación de color rojo, papel filtro para la prueba de Arsénico contenido en un frasco etiquetado como “negro”, papel filtro de extracción contenido en un frasco etiquetado como “rojo”, sachet en polvo del reactivo denominado A1 que contiene Yoduro de Potasio, Tricloruro de Estaño, Zinc. Tabletas de reactivo denominado A2 que contiene Acido Nítrico y Acido Sulfúrico. Un tubo de dilución, un cepillo de limpieza, una carta de comparación de color, bolsas de plástico para la eliminación de residuos, guantes y pinzas (Palintest Ltda., s.f.)

Etapas:

Etapas 1: Carga del dispositivo de tapón: Se toma un filtro de eliminación de sulfuro de hidrógeno y se inserta en el extremo inferior del tapón. Luego se

toma un dispositivo con filtro de detección de color negro se desliza y abre, seguidamente se toma con las pinzas un papel de filtro del frasco etiquetado como negro y se inserta en el dispositivo de color negro, se cierra cuidadosamente. Se repite el mismo procedimiento con el filtro de color rojo. En el tapón con filtro triple para Arsénico se inserta solo el dispositivo con filtro de eliminación rojo, se desliza hacia la ranura superior (Palintest Ltda., s.f.)

Etapa 2: Calibración del equipo: Se selecciona 'Insertar dispositivo'; se toma el dispositivo pre-cargado del filtro de Arsénico negro, se inserta en el equipo, el cual muestra 'Remove Slide', que quiere decir 'Remueva el dispositivo', se quita el dispositivo negro del equipo, luego se lee: 'Run Test', es decir 'comienza la prueba' que activa automáticamente el temporizador en el equipo. A continuación, se toma el dispositivo de filtro negro y se inserta en la ranura inferior del tapón con filtro triple para Arsénico, en donde se encuentra el dispositivo rojo también (Palintest Ltda., s.f.).

Etapa 3: Medición de Arsénico: en el matraz graduado se coloca 50ml de la muestra de agua problema, se añade el sachet en polvo del reactivo denominado A1 que contiene Yoduro de Potasio, Tricloruro de Estaño, Zinc más una tableta de reactivo denominado A2 que contiene Acido Nítrico y Acido Sulfúrico. Empieza la reacción, acto seguido se tapa con el tapón con filtro triple para Arsénico, y se deja durante 20 minutos para que la reacción se complete (Palintest Ltda., s.f.). Concluido este tiempo se retira el dispositivo negro del tapón con filtro triple para Arsénico del matraz y se introduce en el equipo; se registra la cantidad de Arsénico total, en microgramos de As/ L. (Palintest Ltda., s.f.).

Gráficos del método: **Anexo 2.**

3.4.3 Curvas de calibración para determinación de Arsénico.

Se utilizan dos patrones de referencia, un patrón de Oxido Arsenioso (As_2O_3) y otro patrón certificado de Arsénico de la Merck.

a) Patrón de As_2O_3 (Oxido Arsenioso)

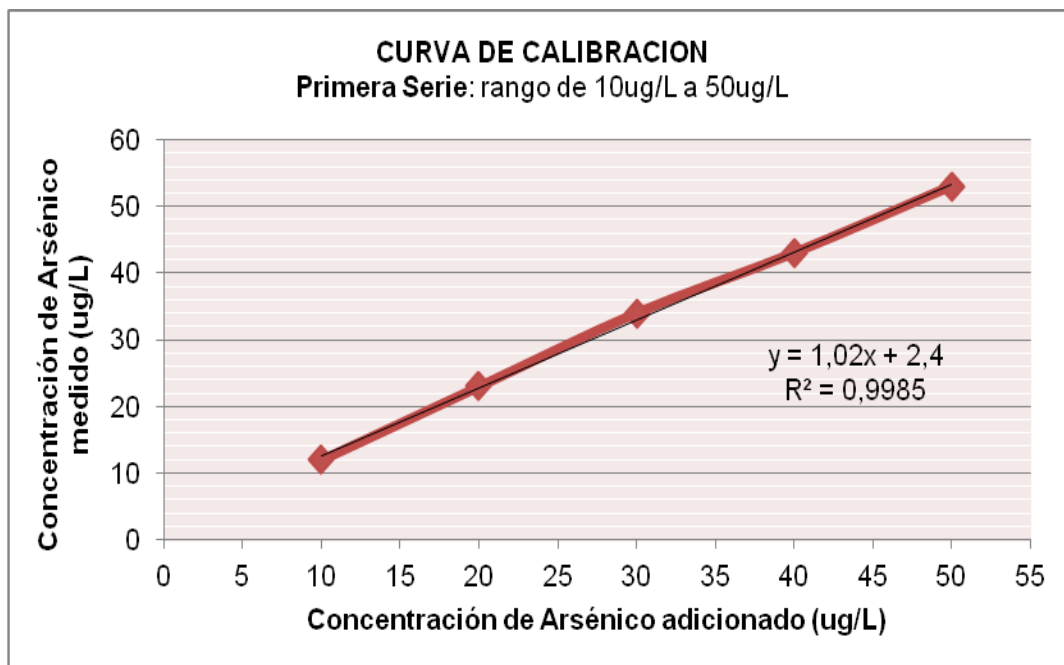
FECHA:	8 de mayo de 2017	
PATRÓN:	As_2O_3	
PRIMERA SERIE		
VOLUMEN SOLUCION PATRON 1	Microgramos de Arsénico por Litro adicionado	Microgramos de Arsénico por Litro medido
1) 0,5 ml a 50 ml	10	12
2) 1 ml a 50 ml	20	23
3) 1,5 ml a 50 ml	30	34
4) 2 ml a 50 ml	40	43
5) 2,5 ml a 50 ml	50	53

Fuente: Autor.

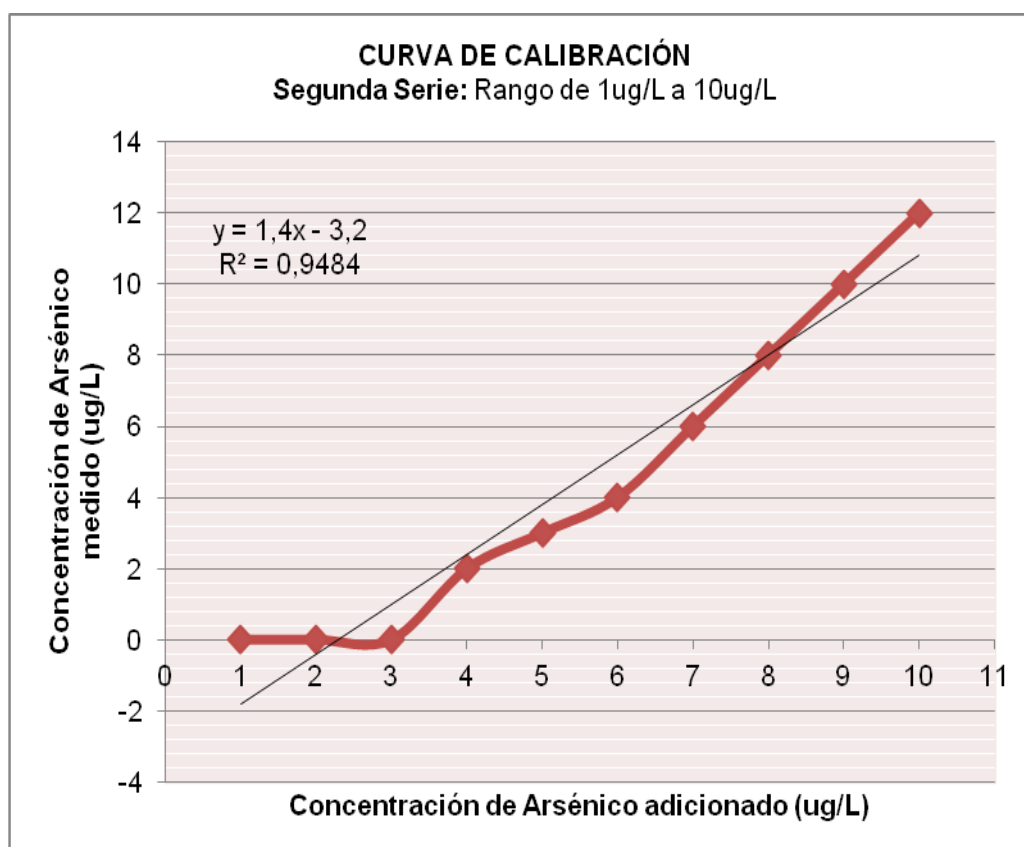
FECHA:	8 de mayo de 2017	
PATRÓN:	As_2O_3	
SEGUNDA SERIE		
VOLUMEN SOLUCION PATRON 2	Microgramos de Arsénico por Litro adicionado	Microgramos de Arsénico por Litro medido
1) 0,5 ml a 50 ml	1	0
2) 1 ml a 50 ml	2	0
3) 1,5 ml a 50 ml	3	0
4) 2 ml a 50 ml	4	2
5) 2,5 ml a 50 ml	5	3
6) 3ml a 50ml	6	4
7) 3,5ml a 50ml	7	6
8) 4ml a 50ml	8	8
9) 4,5ml a 50ml	9	10
10) 5ml a 50ml	10	12

Fuente: Autor.

Representación gráfica:



Fuente: Autor



Fuente: Autor

b) Patrón certificado de Arsénico (MERCK)

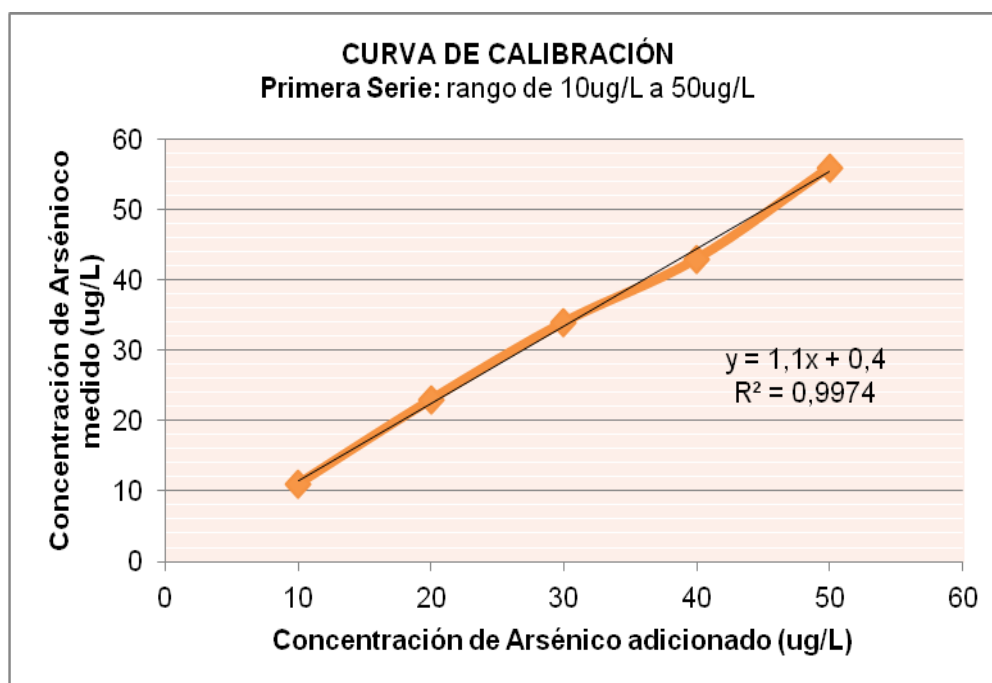
FECHA:	10 de mayo de 2017	
PATRÓN:	De Arsénico certificado de la Merck	
PRIMERA SERIE		
VOLUMEN SOLUCION PATRON 1	Microgramos de Arsénico por Litro adicionado	Microgramos de Arsénico por Litro medido
1) 0,5 ml a 50 ml	10	11
2) 1 ml a 50 ml	20	23
3) 1,5 ml a 50 ml	30	34
4) 2 ml a 50 ml	40	43
5) 2,5 ml a 50 ml	50	56

Fuente: Autor

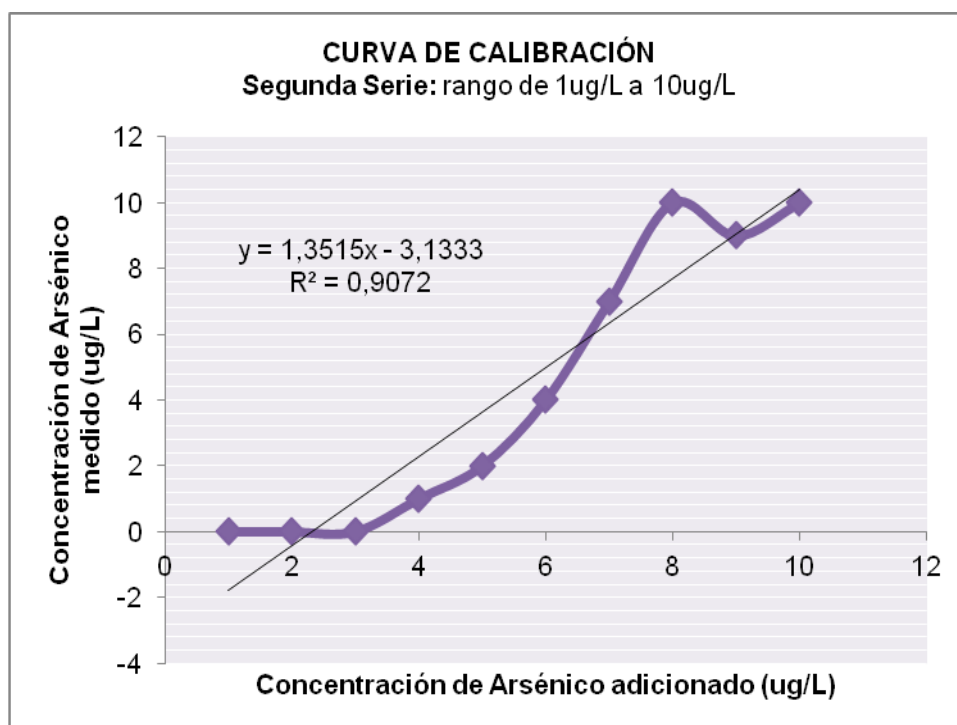
FECHA:	8 de mayo de 2017	
PATRÓN:	De Arsénico certificado de la Merck	
SEGUNDA SERIE		
VOLUMEN SOLUCION PATRON 2	Microgramos de Arsénico por Litro adicionado	Microgramos de Arsénico por Litro medido
1) 0,5 ml a 50 ml	1	0
2) 1 ml a 50 ml	2	0
3) 1,5 ml a 50 ml	3	0
4) 2 ml a 50 ml	4	1
5) 2,5 ml a 50 ml	5	2
6) 3ml a 50ml	6	4
7) 3,5ml a 50ml	7	7
8) 4ml a 50ml	8	10
9) 4,5ml a 50ml	9	9
10) 5ml a 50ml	10	10

Fuente: Autor

Representacion gráfica



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Interpretación: Un mejor ajuste de la curva, se obtiene con los patrones preparados en el laboratorio, con las siguientes observaciones:

En un rango de 10 a 50 ug/l, es válido todo el rango

En un rango de 1 a 10 ug/l, solo es válido de 4 a 10 ug/l

Cuando al realizar el ensayo, no da lectura, se puede reportar como menor a 4 ug/l.

3.5 Valores Máximos Permitidos para el Arsénico, establecidos por la Normativa Ecuatoriana TULSMA, según usos del Agua

Para la comparación se utilizan las Tablas referidas en la Normativa Ecuatoriana TULSMA, Edición Especial N° 387 - Registro Oficial (noviembre 2015) LIBRO VI, ANEXO 1, TABLAS 1, 2, 3, 5 y la TABLA 5 de la Normativa Ecuatoriana TULSMA (2009).

Tabla 16: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y domestico

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ^{VI}	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta Tabla, siempre y cuando las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

Fuente: Registro Oficial-Edición Especial N° 387- miércoles 4 de noviembre de 2015

Tabla 17: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoníaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽²⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005

Fuente: Registro Oficial-Edición Especial N° 387- miércoles 4 de noviembre de 2015

Tabla 18: Criterios de calidad para aguas para riego agrícola

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2

Fuente: TULSMA 2009

Tabla 19: Criterios de calidad de aguas para uso pecuario

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR MAXIMO
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,2
Boro	B	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	25,0
Cobalto	Co	mg/l	1,0
Cobre	Cu	mg/l	2
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,01
Nitratos	NO ₃	mg/l	50
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	3000

Fuente: Registro Oficial-Edición Especial N° 387- miércoles 4 de noviembre de 2015

Tabla 20: Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0-10,0) %

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Arsénico (total)	As	µg/l	35
Bario	Ba	µg/l	338
Cadmio	Cd	µg/l	3,2
Cianuro (total)	CN-	µg/l	753
Cobalto	Co	µg/l	60
Cobre	Cu	µg/l	45
Cromo total	Cr	µg/l	16
Molibdeno	Mo	µg/l	153
Mercurio (total)	Hg	µg/l	0,18
Níquel	Ni	µg/l	45
Plomo	Pb	µg/l	45
Zinc	Zn	µg/l	433

Fuente: TULSMA 2009

3.6 METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO

El riesgo toxicológico, fundamentalmente se basa en cálculos matemáticos que incluyen variables como: concentración de la sustancia tóxica en una determinada matriz ambiental; período de exposición del organismo vivo a esa sustancia; y otros datos derivados de la naturaleza intrínseca de la sustancia, obtenidos como producto de la investigación científica y que pueden consultarse directamente de fuentes de información, como las bases de datos toxicológicas, las que constituyen evidencia científica comprobada; por ejemplo, la IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, y organismo dependiente de la OMS, establece una clasificación para las sustancias basadas en este potencial, y cataloga al Arsénico como cancerígena probada en seres humanos y por lo tanto la ubica en un grupo 1; esto hace que el riesgo (relación adimensional), es decir la probabilidad de padecer de cáncer un determinado número de personas aumenta, con respecto a otra sustancia que siendo tóxica, no es cancerígena (Pauta, 2014).

Es conveniente el análisis de los siguientes índices:

3.6.1 Para sustancias no cancerígenas

La EPA, emplea dos índices:

- Índice de Peligro: Es una medida de la “toxicidad crónica” a la que se expone la población, por presencia del tóxico en la matriz ambiental estudiada; establece la relación entre la dosis suministrada a largo plazo, y la dosis de referencia dada por los organismos competentes. (Perez, 2012)

$$\text{Índice de Peligro (IP)} = \frac{\text{Exposición medida (DDPV)}}{\text{RfDco}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

DDPV: dosis diaria promedio vitalicia: es la dosis diaria de tóxico que la persona recibiría, durante toda su vida, si la exposición fuera continua, a una concentración dada (Perez, 2012). Y su fórmula es la siguiente:

$$\text{DDPV} = \frac{\text{CT} * \text{TC} * \text{B} * \text{PE} * \text{FE}}{\text{PC} * 70 * 365} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

CT: concentración del tóxico en la matriz ambiental analizada (agua): mg/l

TC: tasa de contacto: 2l/hab.día (recomendada por la EPA)

B: Biodisponibilidad: (0.7, para el Arsénico en agua potable)

PE: período de exposición: años

FE: frecuencia de exposición: día/año

PC: peso corporal de la persona: kg/hab

RfDco: dosis de referencia crónica oral (base de datos): nivel de exposición diario de una población, durante toda la vida, para el que no existe un riesgo apreciable de efectos adversos.

El uso de la RfDco suele reservarse a la evaluación de riesgos para períodos de exposición entre 7 años y toda la vida, suponiendo una expectativa media de vida de 70 años (US EPA, 1989 citado por (Moreno M. , 2003)).

La RfDco es semejante a la “Ingesta diaria admisible” (IDA), término usado por la Organización Mundial de la Salud para metales pesados y aditivos alimentarios, que se define como: “la ingesta diaria de un producto químico que, durante toda la vida, parece estará libre de riesgo apreciable, a la luz de los conocimientos actuales (OMS, 1992)”. Si existen datos adecuados obtenidos a partir de estudios sobre seres humanos, éstos deben servir de base para el cálculo de la RfDco. Si no se dispone de esta información, se puede utilizar los resultados experimentales realizados con animales, en el mejor estudio disponible, del cual se toma como dato de referencia el NOAEL, e introduciendo los respectivos factores de incertidumbre y de modificación.

El fundamento del uso del NOAEL como base para el cálculo de la dosis de referencia, es que si el nivel de exposición es inferior a aquel en que aparece el efecto crítico, se previene la aparición de dicho efecto así como de cualquier otro para el que la especie investigada es menos sensible. (Moreno M. , 2003)

Si el IP presenta valores inferiores a la unidad, no es previsible que se presenten efectos adversos sobre la salud humana, mientras que en caso contrario, si pueden producirse efectos adversos. (Manring, 1997)

- Margen de Exposición: Es una medida de la “toxicidad aguda” a la que se expone la población, por la presencia del tóxico en la matriz ambiental estudiada; establece la relación entre la RfDco (dosis de referencia oral

crónica), y la dosis suministrada a la población, en un día de ingesta de agua. (Perez, 2012). Se calcula mediante la Ecuación 3.

$$\text{Margen de exposición (ME)} = \frac{\text{RfDco}}{\text{Dosis Suministrada}}$$

Ecuación 3

En donde:

RfDco: dosis de referencia crónica oral (base de datos): nivel de exposición diario de una población, durante toda la vida, para el que no existe un riesgo apreciable de efectos adversos.

El uso de la RfDco suele reservarse a la evaluación de riesgos para períodos de exposición entre 7 años y toda la vida, suponiendo una expectativa media de vida de 70 años (US EPA, 1989 citado por (Moreno M., 2003)).

Dosis suministrada por día (dosis actual): cantidad de tóxico consumido por día, a partir de una concentración dada, se expresa en: mg/kg día. Mientras más alta sea esta relación, mayor es el margen de exposición o seguridad (Manring, 1997).

3.6.2 Para cancerígenos

La ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades), basa la evaluación, en el índice de riesgo para cáncer.

- Índice de Riesgo para Cáncer: es la probabilidad (adimensional) de que se produzca cáncer, como consecuencia de la exposición al contaminante. (Moreno M. , 2003). Se calcula con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4.**

$$\text{Riesgo de Cáncer} = \frac{\text{DDPV} * \text{Factor dependiente}}{\text{DDPV} * \text{Factor dependiente}}$$

Dosis Permitida (para un riesgo dado)

Ecuación 4

En donde:

Dosis permitida para un riesgo dado: es la dosis suministrada diariamente para obtener un riesgo establecido, a partir de una concentración dada (base de datos); por ejemplo: la concentración permitida para la ingesta de Arsénico en el agua, para un riesgo de $1E-6$, (posibilidad de que una persona puede contraer cáncer, por cada millón), es de: $2E-5$ mg/l; esta concentración se transforma en dosis permitida, mediante la siguiente ecuación 5:

$$\text{Dosis Permitida} = \frac{\text{Concentración Permitida} * TC}{PC}$$

Ecuación 5

Dosis permitida = $2E-5$ mg As/l * 2l/hab.día / 70kg/hab = $5.71E-7$ mg/día kg.

Si el riesgo calculado es mayor a 1, significa que hay un incremento en la probabilidad de padecer de cáncer, mayor que el calculado para una unidad por millón de habitantes.

Factor de pendiente: representa cuantitativamente la relación entre la dosis de agente cancerígeno y la incidencia de tumores. (Moreno M. , 2003)

3.6.3 Cálculo del riesgo toxicológico

Criterio para el cálculo del riesgo: se considera que el uso más delicado del recurso es el abastecimiento, es decir el consumo humano; por tanto la población que consume el

agua con una concentración de Arsénico superior a la fijada por la normativa referida, realmente está “expuesta a un riesgo”; y que el mecanismo de desinfección cualesquiera que éste sea, no elimina el riesgo.

En este sentido es posible aplicar la PPDV (dosis promedio diaria vitalicia), a partir de las concentraciones encontradas, y bajo el supuesto de que una población hace uso de esta fuente sin tratamiento previo (planteamiento de la hipótesis), durante 25 años, dentro de una expectativa de vida de 70 años.

La vía de exposición (consumo de agua), implica un contacto directo con el medio muestreado (el río); por lo tanto la ruta medioambiental del contaminante es: de la fuente al organismo humano.

3.6.4 Datos toxicológicos del Arsénico

Tabla 21: Datos Toxicológicos del Arsénico

DATOS TOXICOLOGICOS DEL ARSÉNICO							
	Efectos no Cancerígenos		Efectos Cancerígenos				
	RfDco mg/Kg/día	NOAEL mg/Kg/día	LOAEL mg/Kg/día	Peso de la evidencia	Factor de Pendiente Oral mg/Kg/día	Nivel de Riesgo	Concentración mg/L
ARSENICO	3 E - 4	8 E - 4	1,4 E - 2	1A	1,5	1E – 6 (1 de cada 1000000	2 E - 5

Fuente: Base de Datos IRIS (Sistema de Información Integral de Riesgos)

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y ARSÉNICO

➤ RÍO TOMBAMBA

RÍO TOMBAMBA								
PRIMER MONITOREO				Epoca: sequía				
Fecha: 14 de Agosto de 2017								
ESTACIONES		Llaviuco	Sayausí	Puente del Vado	Puente Empresa Eléctrica	A.J. Milchichig	A.J. Ptar	Puente Chaullabamba
PARAMETROS	pH	6,93	7,15	7,27	7,24	7,45	7,38	7,41
	Temperatura (°C)	14,8	14,2	14,4	14,5	14,7	14,4	14,3
	Conductividad (us/cm)	108,5	120,2	136,2	154,9	180,7	156,9	211
	Turbiedad (NTU)	1,46	1,50	1,38	6,2	8,62	9,25	28,3
	Color (UPt-Co)	52	57	62	72	80	87	142
	Arsénico (ug/L)	0	0	0	0	8	4,428	4,428

Fuente: Autor

RÍO TOMBAMBA								
SEGUNDO MONITOREO				Epoca: lluviosa				
Fecha: 27 de Octubre de 2017								
ESTACIONES		Llaviuco	Sayausí	Puente del Vado	Puente Empresa Eléctrica	A.J. Milchichig	A.J. Ptar	Puente Chaullabamba
PARAMETROS	pH	7,05	7,16	7,32	7,40	7,45	7,50	7,41
	Temperatura (°C)	12,5	14	15,1	15,6	15,8	15,1	15,7
	Conductividad (us/cm)	128,1	113,4	120,9	129,4	155,1	142	179
	Turbiedad (NTU)	1,27	1,89	7,85	8,93	11,9	222	26,7
	Color (UPt-Co)	57	61	63	71	86	1240	135
	Arsénico (ug/L)	0	0	0	4,428	6,571	28,039	4,428

Fuente: Autor

RÍO YANUNCAY

RIO YANUNCAY								
PRIMER MONITOREO					Epoca: sequía			
Fecha: 15 de Agosto de 2017								
ESTACIONES		Dispensario de Barabon	Barabon	San Joaquín	Avda. Loja	Tres Puentes	Redondel UDA	Parque Paraiso
PARAMETROS	pH	7,50	7,45	7,11	7,36	7,34	7,47	7,39
	Temperatura (°C)	15,6	15,5	16	16,1	16	15,9	15,7
	Conductividad (us/cm)	102,8	95,8	104,1	144,6	127,5	145,2	186,9
	Turbiedad (NTU)	2,93	1,92	3,12	4,04	9,84	7,79	17,1
	Color (UPt-Co)	45	32	61	73	84	77	95
	Arsénico (µg/L)	4,428	0	0	4,428	4,428	4,428	5,857

Fuente: Autor

RIO YANUNCAY								
SEGUNDO MONITOREO					Epoca: lluviosa			
Fecha: 30 de Octubre de 2017								
ESTACIONES		Dispensario de Barabon	Barabon	San Joaquín	Avda. Loja	Tres Puentes	Redondel UDA	Parque Paraiso
PARAMETROS	pH	7,34	7,37	7,20	7,12	7,15	6,95	7,08
	Temperatura (°C)	12,3	12,4	12,9	13,2	13,3	13,4	14,6
	Conductividad (us/cm)	53,7	54	56,5	70,3	64,8	69,9	112,8
	Turbiedad (NTU)	2,54	3,16	3,47	6,89	7,35	11,5	68,2
	Color (UPt-Co)	54	64	61	84	82	104	314
	Arsénico (µg/L)	7,450	5,857	0	6,571	5,857	7,285	6,571

Fuente: Autor

➤ RÍO MACHÁNGARA

RIO MACHÁNGARA						
PRIMER MONITOREO				Epoca: sequía		
Fecha: 17 de Agosto de 2017						
ESTACIONES		Chiquintad	Ochoa León	Feria de Ganado	Parque Industrial	Redondel González Suarez
PARAMETROS	pH	7,14	7,43	7,41	7,35	7,34
	Temperatura (°C)	15,2	15,1	15	15	14,8
	Conductividad (us/cm)	89	99,9	101	110,7	116,8
	Turbiedad (NTU)	2,47	3,15	3,74	5,10	8,92
	Color (UPt-Co)	56	82	57	85	102
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

RIO MACHÁNGARA						
SEGUNDO MONITOREO				Epoca: lluviosa		
Fecha: 1 de Noviembre de 2017						
ESTACIONES		Chiquintad	Ochoa León	Feria de Ganado	Parque Industrial	Redondel González Suarez
PARAMETROS	pH	7,17	7,19	7,31	7,28	7,26
	Temperatura (°C)	12,5	12,9	13,1	13,3	13,8
	Conductividad (us/cm)	95,4	101	103,9	107,8	126,1
	Turbiedad (NTU)	4,64	4,91	5,67	7,74	16,5
	Color (UPt-Co)	42	49	52	53	76
	Arsénico (µg/L)	0	5,142	5,142	4,428	4,428

Fuente: Autor

➤ RÍO TARQUI

RIO TARQUI								
PRIMER MONITOREO				Epoca: sequía				
Fecha: 18 de Agosto de 2017								
ESTACIONES		A.J. Irquis	D.J. Cumbe	Tarqui	Zona Franca	D.J. Zhucay	Parque Inclusivo	A.J. Yanuncay
PARAMETROS	pH	7,18	7,25	7,23	7,12	7,29	7,65	7,49
	Temperatura (°C)	15,3	15,8	16,1	16,2	16,2	15,6	15,9
	Conductividad (us/cm)	58,9	124,9	135,1	140,5	130,8	130,3	179,5
	Turbiedad (NTU)	4,54	12,50	11,2	11,8	65,3	61,1	26,2
	Color (UPt-Co)	86	120	130	98	493	461	174
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

RIO TARQUI								
SEGUNDO MONITOREO				Epoca: lluviosa				
Fecha: 2 de noviembre de 2017								
ESTACIONES		A.J. Irquis	D.J. Cumbe	Tarqui	Zona Franca	D.J. Zhucay	Parque Inklusivo	A.J. Yanuncay
PARAMETROS	pH	7,1	7,12	7,05	7,01	6,98	7,15	6,97
	Temperatura (°C)	13,8	14,7	15,1	15,3	14,7	14,4	14,7
	Conductividad (us/cm)	45,6	105,6	104,6	122,1	87,2	89,4	120
	Turbiedad (NTU)	16	39,5	59,9	89,6	89,5	92,7	96,1
	Color (UPt-Co)	132	231	338	451	452	465	468
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	0	12,352	8,431

Fuente: Autor

➤ RÍO BURGAY

RIO BURGAY							
PRIMER MONITOREO				Epoca: sequía			
Fecha: 19 de Agosto de 2017							
ESTACIONES		Río Cachi	Río Burgay Origen	A.J. Tabacay	D.J. Tabacay	A. J. Deleg	D.J.Deleg
PARAMETROS	pH	7,75	7,65	7,32	7,73	7,46	7,61
	Temperatura (°C)	14,9	15,5	15,8	16,3	16,5	16,7
	Conductividad (us/cm)	126,6	156,5	627	430	647	646
	Turbiedad (NTU)	2,75	3,52	34,6	14,5	75,1	56,8
	Color (UPt-Co)	45	33	185	115	335	245
	Arsénico (µg/L)	0	6,571	0	4,428	0	0

Fuente: Autor

RIO BURGAY							
SEGUNDO MONITOREO					Epoca: lluviosa		
Fecha: 28 de Octubre de 2017							
ESTACIONES		Río Cachi	Río Burgay Origen	A.J. Tabacay	D.J. Tabacay	A. J. Deleg	D.J.Deleg
PARAMETROS	pH	7,29	7,47	7,30	7,58	7,25	7,51
	Temperatura (°C)	12,5	12,7	13,1	13,6	13,9	14,2
	Conductividad (us/cm)	103,8	121,6	465	307	515	508
	Turbiedad (NTU)	2,31	25,2	70,4	67,5	187	109
	Color (UPt-Co)	52	144	245	265	650	371
	Arsénico (µg/L)	5,857	10,784	4,428	8	6,571	4,428

Fuente: Autor

➤ RÍO TABACAY

Seguimiento Aguas arriba Río Tabacay							
PRIMER MONITOREO				Epoca:		Sequía	
Fecha: 19 de Agosto del 2017							
ESTACIONES		Río Nudpud	Quebrada Monjas	Río Tabacay	Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado
PARAMETROS	pH	6,24	7,104	7,22	7,39	7,27	6,95
	Temperatura (°C)	19,1	19,1	19,5	19,4	19,2	19,5
	Conductividad (us/cm)	260	309	378	475	1207	320
	Turbiedad (NTU)	8,09	62,1	36,6	29,6	45,5	11,6
	Color (UPt-Co)	79	303	186	179	236	77
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	4,428	5,857

Fuente: Autor

Seguimiento Aguas arriba Río Tabacay							
PRIMER MONITOREO				Epoca: Lluviosa			
Fecha: 11 de Noviembre del 2017							
ESTACIONES		Río Nudpud	Quebrada Monjas	Río Tabacay	Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado
PARAMETROS	pH	6,42	6,79	6,98	7,12	7,37	7,15
	Temperatura (°C)	18,5	18,7	18,7	18,9	19,1	19,2
	Conductividad (us/cm)	360	416	487	545	1498	452
	Turbiedad (NTU)	10,5	89,6	50,76	49,7	79,4	28,4
	Color (UPt-Co)	89	467	274	263	419	92
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	8,714	6,571

Fuente: Autor

➤ REDES DOMICILIARIAS

REDES DOMICILIARIAS EN AZOGUES					
Fecha: 11 de Noviembre del 2017					
ESTACIONES		Terminal Terrestre	Gasolinera entrada a Guapan	Casa. Agua entubada del río Tabacay antes de la empresa Guapan	Mercado municipal
PARAMETROS	pH	6,44	6,12	6,21	5,97
	Temperatura (°C)	19,6	19,7	19,8	20,4
	Conductividad (us/cm)	188,3	149,9	486	186,9
	Turbiedad (NTU)	0,449	0,825	1,01	0,992
	Color (UPt-Co)	7	6	15	9
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0

Fuente: Autor

➤ PÁRAMO DE QUIMSACocha

PARAMOS DE QUIMSACocha: Río Bermejos		
PRIMER MONITOREO		
Epoca: sequía		
Fecha: 15 de Agosto de 2017		
PARAMETROS	pH	7,32
	Temperatura (°C)	15,8
	Conductividad (us/cm)	80,6
	Turbiedad (NTU)	1,04
	Color (UPt-Co)	30
	Arsénico (µg/L)	0

PARAMOS DE QUIMSACocha: Portete de Tarqui		
PRIMER MONITOREO		
Epoca: sequía		
Fecha: 19 de Agosto de 2017		
PARAMETROS	pH	7,51
	Temperatura (°C)	16,1
	Conductividad (us/cm)	41,2
	Turbiedad (NTU)	1,54
	Color (UPt-Co)	47
	Arsénico (µg/L)	0

PARAMOS DE QUIMSACocha: Río Bermejos		
SEGUNDO MONITOREO		
Epoca: lluviosa		
Fecha: 27 de Octubre de 2017		
PARAMETROS	pH	7,28
	Temperatura (°C)	17,9
	Conductividad (us/cm)	39,8
	Turbiedad (NTU)	1,52
	Color (UPt-Co)	52
	Arsénico (µg/L)	0

PARAMOS DE QUIMSACocha: Portete de Tarqui		
SEGUNDO MONITOREO		
Epoca: lluviosa		
Fecha: 2 de Noviembre de 2017		
PARAMETROS	pH	7,53
	Temperatura (°C)	17,7
	Conductividad (us/cm)	44
	Turbiedad (NTU)	10,2
	Color (UPt-Co)	74
	Arsénico (µg/L)	0

Fuente: Autor

➤ FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA DE UNIVERSIDAD DE CUENCA

FUENTES SUBTERRÁNEAS: Universidad de Cuenca						
PRIMER MONITOREO						
Epoca: sequía						
Fecha: 20 de Octubre de 2017						
ESTACIONES		Pozo 1: Junto a la Cafetería	Pozo 2: Detrás del Comisariato	Pozo 3: Junto al Laboratorio Clínico	Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	Pozo 5: Junto a la cancha del estadio de la Universidad
PARAMETROS	Profundidad del Pozo (metros)	6	6	50	6	50
	pH	6,82	6,5	6,79	6,89	6,11
	Temperatura (°C)	16,8	17,1	17,5	17	17,9
	Conductividad (us/cm)	161,1	393	501	514	413
	Turbiedad (NTU)	9,74	1,25	2,33	1,06	1,01
	Color (UPt-Co)	29	11	17	4	2
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

FUENTES SUBTERRÁNEAS: Universidad de Cuenca						
SEGUNDO MONITOREO			Epoca: lluviosa			
Fecha: 14 de Noviembre de 2017						
ESTACIONES		Pozo 1: Junto a la Cafetería	Pozo 2: Detrás del Comisariato	Pozo 3: Junto al Laboratorio Clínico	Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	Pozo 5: Junto a la cancha del estadio de la Universidad
PARAMETROS	Profundidad del Pozo (metros)	6	6	50	6	50
	pH	7,02	7,13	7,33	6,69	7,21
	Temperatura (°C)	17,6	17,5	18,2	18,3	18,1
	Conductividad (us/cm)	263	641	517	579	398
	Turbiedad (NTU)	4,19	12,9	2,39	1,01	0,584
	Color (UPt-Co)	12	53	16	5	2
	Arsénico (µg/L)	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

- **AGUA TERMAL DE LA PARROQUIA BAÑOS(como un dato adicional y que nos permitió observar la eficacia del equipo)**

AGUA TERMAL: Parroquia Baños		
PRIMER MONITOREO		Época: lluviosa
Fecha: 8 de Noviembre de 2017		
PARAMETROS	pH	7,04
	Temperatura (°C)	25
	Conductividad (us/cm)	3970
	Turbiedad (NTU)	13,6
	Color (UPt-Co)	39
	Arsénico (µg/L)	438,8

Fuente: Autor

4.2 COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS, CON VALORES DE NORMA

TABLA 1. CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO. Registro Oficial (noviembre 2015).											
Y											
TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA. Registro Oficial (noviembre 2015)											
		ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA
				mg/L	mg/L					mg/L	mg/L
TOMBAMBA	CAUDAL BAJO	Llaviuco	0	0,1	YANUNCAY	CAUDAL BAJO	Dispensario Barabón	0,0044	0,1		
		Sayausí	0				Barabón	0			
		Puente del Vado	0				San Joaquín	0			
		Puente Empresa Electrica	0				Av. Loja	0,0044			
		A.J. Milchichig	0,008				Tres puentes	0,0044			
		A.J. Ptar	0,0044				Redondel UDA	0,0044			
		Puente Chaullabamba	0,0044				Parque Paraíso	0,0058			
	CAUDAL ALTO	Llaviuco	0	0,1		CAUDAL ALTO	Dispensario Barabón	0,0074	0,1		
		Sayausí	0				Barabón	0,0058			
		Puente del Vado	0				San Joaquín	0			
		Puente Empresa Electrica	0,0044				Av. Loja	0,0065			
		A.J. Milchichig	0,0065				Tres puentes	0,0058			
		A.J. Ptar	0,0280				Redondel UDA	0,0072			
		Puente Chaullabamba	0,0044				Parque Paraíso	0,0065			
		ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA
				mg/L	mg/L <td colspan="2"></td> <th colspan="2"></th> <th>mg/L</th> <th>mg/L</th>					mg/L	mg/L
MACHANGARA	CAUDAL BAJO	Chiquitad	0	0,1	TARQUI	CAUDAL BAJO	A.J. Río Irquis	0	0,1		
		Ochoa León	0				D.J. Río Cumbe	0			
		Feria de Ganado	0				Tarqui	0			
		Parque Industrial	0				Zona Franca	0			
		Redondel González Suarez	0				D.J. Río Zhucay	0			
							Parque Inclusivo	0			
	CAUDAL ALTO	Chiquitad	0	0,1		CAUDAL ALTO	A.J. Río Irquis	0	0,1		
		Ochoa León	0,0051				D.J. Río Cumbe	0			
		Feria de Ganado	0,0051				Tarqui	0			
		Parque Industrial	0,0044				Zona Franca	0			
		Redondel González Suarez	0,0044				D.J. Río Zhucay	0			
							Parque Inclusivo	0,0123			
							A.J. Río Yanuncay	0,0084			
		ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA
				mg/L	mg/L <td colspan="2"></td> <th colspan="2"></th> <th>mg/L</th> <th>mg/L</th>					mg/L	mg/L
BURGAY	CAUDAL BAJO	Río Cachi	0	0,1	TABACAY	CAUDAL BAJO	Río Nudpud	0	0,1		
		Río Burgay Origen	0,0065				Quebrada Monjas	0			
		A.J. Río Tabacay	0				Río Tabacay	0			
		D.J. Río Tabacay	0,0044				Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	0			
		A.J. Río Deleg	0				Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	0,0044			
		D.J. Río Deleg	0				Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado	0,0058			
		CAUDAL ALTO	Río Cachi				0,0058	0,1		CAUDAL ALTO	Río Nudpud
	Río Burgay Origen		0,0107	Quebrada Monjas		0					
	A.J. Río Tabacay		0,0044	Río Tabacay		0					
	D.J. Río Tabacay		0,008	Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan		0					
	A.J. Río Deleg		0,0065	Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan		0,0087					
	D.J. Río Deleg		0,0044	Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado		0,0065					
		ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES		ARSENICO	NORMATIVA
				mg/L	mg/L <td colspan="2"></td> <th colspan="2"></th> <th>mg/L</th> <th>mg/L</th>					mg/L	mg/L
PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Río Bermejós	0	0,1	PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Portete de Tarqui	0	0,1		
	CAUDAL ALTO	Río Bermejós	0	0,1		CAUDAL ALTO	Portete de Tarqui	0	0,1		

Fuente: Autor

TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS.
Registro Oficial (noviembre 2015)

		ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA				
			mg/L	mg/L				mg/L	mg/L				
TOMBAMBA	CAUDAL BAJO	Llaviuco	0	0,05	YANUNCAY	CAUDAL BAJO	Dispensario Barabón	0,0044	0,05				
		Sayausí	0				Barabón	0					
		Puente del Vado	0				San Joaquín	0					
		Puente Empresa Electrica	0				Av. Loja	0,0044					
		A.J. Milchichig	0,008				Tres puentes	0,0044					
		A.J. Ptar	0,0044				Redondel UDA	0,0044					
		Puente Chaullabamba	0,0044				Parque Paraíso	0,0058					
		CAUDAL ALTO	Llaviuco				0	0,05		CAUDAL ALTO	Dispensario Barabón	0,0074	0,05
	Sayausí		0	Barabón		0,0058							
	Puente del Vado		0	San Joaquín		0							
	Puente Empresa Electrica		0,0044	Av. Loja		0,0065							
	A.J. Milchichig		0,0065	Tres puentes		0,0058							
	A.J. Ptar		0,0280	Redondel UDA		0,0072							
	Puente Chaullabamba	0,0044	Parque Paraíso	0,0065									
		ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA				
			mg/L	mg/L				mg/L	mg/L				
MACHANGARA	CAUDAL BAJO	Chiquintad	0	0,05	TARQUI	CAUDAL BAJO	A.J. Río Irquis	0	0,05				
		Ochoa León	0				D.J. Río Cumbe	0					
		Feria de Ganado	0				Tarqui	0					
		Parque Industrial	0				Zona Franca	0					
		Redondel González Suarez	0				D.J. Río Zhucay	0					
							Parque Inclusivo	0					
							A.J. Río Yanuncay	0					
		CAUDAL ALTO	Chiquintad				0	0,05		CAUDAL ALTO	A.J. Río Irquis	0	0,05
	Ochoa León		0,0051	D.J. Río Cumbe		0							
	Feria de Ganado		0,0051	Tarqui		0							
	Parque Industrial		0,0044	Zona Franca		0							
	Redondel González Suarez		0,0044	D.J. Río Zhucay		0							
				Parque Inclusivo		0,0123							
						A.J. Río Yanuncay	0,0084						
		ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA			ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA				
			mg/L	mg/L				mg/L	mg/L				
BURGAY	CAUDAL BAJO	Río Cachi	0	0,05	TABACAY	CAUDAL BAJO	Río Nudpud	0	0,05				
		Río Burgay Origen	0,0065				Quebrada Monjas	0					
		A.J. Río Tabacay	0				Río Tabacay	0					
		D.J. Río Tabacay	0,0044				Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	0					
		A.J. Río Deleg	0				Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	0,0044					
		D.J. Río Deleg	0				Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado	0,0058					
		CAUDAL ALTO	Río Cachi				0,0058	0,05		CAUDAL ALTO	Río Nudpud	0	0,05
			Río Burgay Origen				0,0107				Quebrada Monjas	0	
	A.J. Río Tabacay		0,0044	Río Tabacay		0							
	D.J. Río Tabacay		0,008	Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan		0							
	A.J. Río Deleg		0,0065	Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan		0,0087							
	D.J. Río Deleg		0,0044	Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado		0,0065							
			ESTACIONES	ARSENICO		NORMATIVA			ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA		
				mg/L		mg/L				mg/L	mg/L		
PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Río Bermejós	0	0,05	PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Portete de Tarqui	0	0,05				
	CAUDAL ALTO	Río Bermejós	0	0,05		CAUDAL ALTO	Portete de Tarqui	0	0,05				

Fuente: Autor

TABLA 5: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA PARA USO PECUARIO.

Registro Oficial (Noviembre 2015)

		ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L			ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L
TOMBAMBA	CAUDAL BAJO	Llaviuco	0	0,2	YANUNCAY	CAUDAL BAJO	Dispensario Barabón	0,0044	0,2
		Sayausí	0				Barabón	0	
		Puente del Vado	0				San Joaquín	0	
		Puente Empresa Electrica	0				Av. Loja	0,0044	
		A.J. Milchichig	0,008				Tres puentes	0,0044	
		A.J. Ptar	0,0044				Redondel UDA	0,0044	
		Puente Chaullabamba	0,0044				Parque Paraiso	0,0058	
	CAUDAL ALTO	Llaviuco	0	0,2		CAUDAL ALTO	Dispensario Barabón	0,0074	0,2
		Sayausí	0				Barabón	0,0058	
		Puente del Vado	0				San Joaquín	0	
		Puente Empresa Electrica	0,0044				Av. Loja	0,0065	
		A.J. Milchichig	0,0065				Tres puentes	0,0058	
		A.J. Ptar	0,0280				Redondel UDA	0,0072	
		Puente Chaullabamba	0,0044				Parque Paraiso	0,0065	
		ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L			ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L
MACHANGARA	CAUDAL BAJO	Chiquintad	0	0,2	TARQUI	CAUDAL BAJO	A.J. Río Irquis	0	0,2
		Ochoa León	0				D.J. Río Cumbe	0	
		Feria de Ganado	0				Tarqui	0	
		Parque Industrial	0				Zona Franca	0	
		Redondel González Suarez	0				D.J. Río Zhucay	0	
							Parque Inclusivo	0	
							A.J. Río Yanuncay	0	
	CAUDAL ALTO	Chiquintad	0	0,2		CAUDAL ALTO	A.J. Río Irquis	0	0,2
		Ochoa León	0,0051				D.J. Río Cumbe	0	
		Feria de Ganado	0,0051				Tarqui	0	
		Parque Industrial	0,0044				Zona Franca	0	
		Redondel González Suarez	0,0044				D.J. Río Zhucay	0	
							Parque Inclusivo	0,0123	
							A.J. Río Yanuncay	0,0084	
		ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L			ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L
BURGAY	CAUDAL BAJO	Río Cachi	0	0,2	TABACAY	CAUDAL BAJO	Río Nudpud	0	0,2
		Río Burgay Origen	0,0065				Quebrada Monjas	0	
		A.J. Río Tabacay	0				Río Tabacay	0	
		D.J. Río Tabacay	0,0044				Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	0	
		A.J. Río Deleg	0				Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	0,0044	
		D.J. Río Deleg	0				Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado	0,0058	
	CAUDAL ALTO	Río Cachi	0,0058	0,2		CAUDAL ALTO	Río Nudpud	0	0,2
		Río Burgay Origen	0,0107				Quebrada Monjas	0	
		A.J. Río Tabacay	0,0044				Río Tabacay	0	
		D.J. Río Tabacay	0,008				Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan	0	
		A.J. Río Deleg	0,0065				Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan	0,0087	
		D.J. Río Deleg	0,0044				Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado	0,0065	
		ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L			ESTACIONES	ARSENICO mg/L	NORMATIVA mg/L
PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Río Bermejós	0	0,2	PARAMOS DE QUIMSACOA	CAUDAL BAJO	Portete de Tarqui	0	0,2
	CAUDAL ALTO	Río Bermejós	0	0,2		CAUDAL ALTO	Portete de Tarqui	0	0,2

Fuente: Autor

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ARSENICO CON LOS VALORES ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA ECUATORIANA TULSMA

TABLA 5. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y demateria orgánica entre (0 - 10,0)%

		ESTACIONES	ARSENICO	NORMATIVA
			ug/L	ug/L
POZOS AGUA SUBTERRANEA	CAUDAL BAJO	Pozo 1: Junto a la Cafetería	0	35
		Pozo 2: Detrás del Comisariato	0	
		Pozo 3: Junto al Laboratorio Clínico	0	
		Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	0	
		Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	0	
	CAUDAL ALTO	Pozo 1: Junto a la Cafetería	0	35
		Pozo 2: Detrás del Comisariato	0	
		Pozo 3: Junto al Laboratorio Clínico	0	
		Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	0	
		Pozo 4: Entrada puerta principal de la Universidad	0	

Fuente: Autor



4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO POR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO Y BASES TOXICOLÓGICAS

			Concentración ug/L	Concentración mg/L	Concentración: Limite de confianza 95%	Dosis Promedio Diaria Vitalicia: DDPV mg/kg día	Dosis de Referencia Crónica Oral: DfRco mg/kg día	Indice de Peligro: IP	Dosis Suministrada: mg/kg día	Margen de Exposición: ME	Factor de Pendiente: mg/Kg día	Peso de la Evidencia	Concentraciön Permitida mg/L	Dosis Permitida mg/kg día	Riesgo de Cáncer:	Nivel de Riesgo Concentración Permitida: 1 en millón
RIO TOMBAMBA	CAUDAL BAJO	14 de agosto del 2017														
		ESTACION: A.J.Milchichig	8	0,008	0,0076	1,5E-07	3,0E-04	5,0E-04	1,52E-04	1,974	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,390	1,0E-06
		ESTACION: A.J.PTAR	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACION: Puente Chaulabamba														
	CAUDAL ALTO	27 de octubre del 2017														
		ESTACION: Puente Empresa Eléctrica	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACION: A.J. Milchichig	6,571	0,0066	0,0062	1,2E-07	3,0E-04	4,07E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06
		ESTACION: A.J. PTAR	28,039	0,0280	0,0266	5,2E-07	3,0E-04	1,74E-03	5,33E-04	0,563	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	1,368	1,0E-06
		ESTACION: Puente Chaulabamba	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
RIO YANUNCAY	CAUDAL BAJO	15 de agosto del 2017														
		ESTACION: Dispensario de Barabón	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,7E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACION: Av. Loja														
		ESTACION: Tres Puentes														
		ESTACION: Redondel de la UDA														
		ESTACION: Parque el Paraíso	5,857	0,0059	0,0056	1,1E-07	3,0E-04	3,63E-04	1,11E-04	2,696	1,5	1a	2,0E-05	5,71E-07	0,286	1,0E-06
	CAUDAL ALTO	30 de octubre del 2017														
		ESTACION: Dispensario de Barabón	7,450	0,0075	0,0071	1,4E-07	3,0E-04	4,62E-04	1,42E-04	2,119	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,364	1,0E-06
		ESTACION: Barabon	5,857	0,0059	0,0056	1,1E-07	3,0E-04	3,63E-04	1,11E-04	2,696	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,286	1,0E-06
		ESTACION: Av. Loja	6,571	0,0066	0,0062	1,2E-07	3,0E-04	4,07E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06
		ESTACION: Tres Puentes	5,857	0,0059	0,0056	1,1E-07	3,0E-04	3,63E-04	1,11E-04	2,696	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,286	1,0E-06
		ESTACION: Redondel de la UDA	7,285	0,0073	0,0069	1,4E-07	3,0E-04	4,51E-04	1,38E-04	2,167	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,356	1,0E-06
		ESTACION: Parque el Paraíso	6,571	0,0066	0,00624245	1,2E-07	3,0E-04	4,07E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06

Fuente: Autor



			Concentración ug/L	Concentración mg/L	Concentración: Límite de confianza 95%	Dosis Promedio Diaria Vitalicia: DDPV mg/Kg día	Dosis de Referencia Crónica Oral: DfRco mg/Kg día	Índice de Peligro: IP	Dosis Suministrada: mg/kg día	Margen de Exposición: ME	Factor de Pendiente: mg/Kg día	Peso de la Evidencia	Concentración Permitida mg/L	Dosis Permitida: mg/kg día	Riesgo de Cáncer	Nivel de Riesgo Concentración Permitida: 1 en millón
RIO MACHANGARA	CAUDAL ALTO	1 de Noviembre del 2017														
		ESTACION: Ochoa León	5,142	0,0051	0,0049	9,6E-08	3,0E-04	3,2E-04	9,77E-05	3,071	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,251	1,0E-06
		ESTACION: Feria del Ganado														
		ESTACION: Parque Industrial	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACION: Redondel Gonzalez Suarez														
RIO TARQUI	CAUDAL ALTO	2 de noviembre del 2017														
		ESTACION: Parque Inclusivo	12,352	0,0124	0,0117	2,3E-07	3,0E-04	7,7E-04	2,35E-04	1,278	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,603	1,0E-06
		ESTACION: A.J. Río Yanuncay	8,431	0,0084	0,0080	1,6E-07	3,0E-04	5,22E-04	1,60E-04	1,873	1,5	1a	2,0E-05	5,71E-07	0,411	1,0E-06

Fuente: Autor



			Concentración ug/L	Concentración mg/L	Concentración: Límite de confianza 95%	Dosis Promedio Diaria Vitalicia: DDPV mg/kg día	Dosis de Referencia Crónica Oral: DfRco mg/kg día	Índice de Peligro: IP	NOAEL: MG/KG DÍA	Dosis Suministrada: mg/kg día	Margen de Exposición: ME	Factor de Pendiente: mg/kg día	Peso de la Evidencia	Concentración Permitida mg/L	Dosis Permitida mg/kg día	Riesgo de Cáncer	Nivel de Riesgo Concentración Permitida: 1 en millón
RIO BURGAY	CAUDAL BAJO	19 de agosto del 2017															
		ESTACION: Río Burgay Origen	6,571	0,006571	0,00624245	1,2E-07	3,0E-04	4,1E-04	8,0E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06
		ESTACION: D.J. Río Tabacay	4,428	0,004428	0,0042066	8,2E-08	3,0E-04	2,7E-04	8,0E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
	CAUDAL ALTO	28 de octubre del 2017															
		ESTACION: Río Cachi	5,857	0,0059	0,0056	1,1E-07	3,0E-04	3,63E-04	8,0E-04	1,11E-04	2,696	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,286	1,0E-06
		ESTACION: Río Burgay Origen	10,784	0,0108	0,0102	2,0E-07	3,0E-04	6,68E-04	8,0E-04	2,05E-04	1,464	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,526	1,0E-06
		ESTACIÓN: A.J. Río Tabacay	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,0E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACIÓN: D.J. Río Tabacay	8	0,0080	0,0076	1,5E-07	3,0E-04	4,96E-04	8,0E-04	1,52E-04	1,974	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,390	1,0E-06
		ESTACION: A.J. Río Deleg	6,571	0,0066	0,0062	1,2E-07	3,0E-04	4,07E-04	8,0E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06
		ESTACION: D.J. Río Deleg	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,74E-04	8,0E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
RIO TABACAY	CAUDAL BAJO	19 de agosto del 2017															
		ESTACION: Río Tabacay, despues de la Empresa Guapán	4,428	0,0044	0,0042	8,2E-08	3,0E-04	2,7E-04	8,0E-04	8,41E-05	3,566	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,216	1,0E-06
		ESTACION: Río Burgay A.J Río Tabacay. Sector mercado central	5,857	0,0059	0,0056	1,1E-07	3,0E-04	3,63E-04	8,0E-04	1,11E-04	2,696	1,5	1a	2,0E-05	5,71E-07	0,286	1,0E-06
	CAUDAL ALTO	11 de Noviembre del 2017															
		ESTACION: Río Tabacay, despues de la Empresa Guapán	8,714	0,0087	0,0083	1,6E-07	3,0E-04	5,40E-04	8,0E-04	1,66E-04	1,812	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,425	1,0E-06
		ESTACION: Río Burgay A.J Río Tabacay. Sector mercado central	6,572	0,0066	0,0062	1,2E-07	3,0E-04	4,07E-04	8,0E-04	1,25E-04	2,403	1,5	1A	2,0E-05	5,71E-07	0,321	1,0E-06

Fuente: Autor

CAPITULO V: ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISCUSIÓN

5.1 CRITERIOS PARA ANALISIS ESTADISTICO

Para la descripción de los resultados se ha procedido a utilizar análisis estadísticos como el error estándar o la dispersión de un parámetro correspondiente a una población; la mediana entendida como el valor que separa el 50% de los datos y que no se ve influenciada por la presencia de datos atípicos y se ve más confiable y robusta ante la presencia de los mismos. Se incluirá también el valor mínimo y máximo para tener una idea de la amplitud de la dispersión de los resultados. La forma gráfica más adecuada para evidenciar la naturaleza variable de los datos ha sido mediante el uso de los diagramas de caja y de dispersión.

Para analizar los datos de Arsénico en cada lugar y en cada época, se ha procedido a aplicar tanto procedimientos paramétricos con el intervalo de confianza al 95%, así como procedimientos no paramétricos como es el cálculo de percentiles, el 2,5 y el 97,5 los mismos que contienen al igual que el intervalo de confianza el 95% de casos centrales, que a diferencia de este último es más robusto ante la presencia de datos atípicos.

Para determinar la normalidad en los datos del Arsénico de cada lugar y época, aspecto afectado por la presencia de datos atípicos, se procedió al cálculo del estadístico de Shapiro – Wilk (SW) (muestras menores a 30 en cada lugar) a un nivel de significancia del 5%, en donde se concluirá la presencia de normalidad solo si ($P > 0,05$). Este será un valor determinante para la utilización de procedimientos paramétricos (SW, $P > 0,05$) o no paramétricos (SW, $P < 0,05$).

Finalmente para encontrar evidencia estadística a favor de posibles relaciones entre el nivel de Arsénico y los diferentes parámetros de calidad físico – química del agua, se usaron los coeficientes de correlación de Pearson en el caso de que exista normalidad de los datos (SW, $P > 0,05$) o el coeficiente de correlación de Spearman en el caso de no existir normalidad en los mismos (SW, $P < 0,05$). Adicionalmente se concluyó como

una correlación significativa entre variables a aquellas con nivel “*p value*” menor al 5%. ($P < 0,05$).

5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de Arsénico encontrados en los diferentes caudales y los diferentes lugares se describen en la Tabla 22.

La tabla muestra que los ríos Machángara y Tarqui, las fuentes subterráneas, las aguas del páramo de Quimsacocha y las Redes domiciliarias, no registraron valores algunos de Arsénico durante el Caudal Bajo (época de estiaje), a diferencia del Caudal Alto (época de lluvia), en donde hubo presencia de Arsénico en todas las fuentes analizadas, excepto en: muestras del páramo de Quimsacocha, fuentes subterráneas de la Universidad de Cuenca y las redes domiciliarias de Azogues.

Tabla 22: Niveles de Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) muestreados en los ríos, páramos y fuentes subterráneas de la ciudad de Cuenca y en los ríos y redes domiciliarias de la ciudad de Azogues; en los dos diferentes caudales.

CAUDALES			LUGAR	EE	Me	Mín.	Máx.
			Tomebamba	3,8	4,4	0	28

CAUDAL ALTO	Yanuncay	0,96	6,5	0	7,4
	Machángara	0,96	4,4	0	5,1
	Tarqui	2	0	0	12
	Burgay	0,98	6,2	4,4	11
	Páramos de Quimsacocha	---	---	---	---
	Fuentes subterráneas	---	---	---	---
	Tabacay	1,6	0	0	8,7
	Redes Domiciliarias	---	---	---	---
	Total	0,72	0	0	28
CAUDAL BAJO	Tomebamba	1,2	0	0	8
	Yanuncay	0,88	4,4	0	5,8
	Machángara	---	---	---	---
	Tarqui	---	---	---	---
	Burgay	1,2	0	0	6,5
	Páramos de Quimsacocha	---	---	---	---
	Fuentes subterráneas	---	---	---	---
	Tabacay	1,1	0	0	5,8
	Redes Domiciliarias	---	---	---	---
	Total	0,35	0	0	8

Fuente: Autor

De donde:

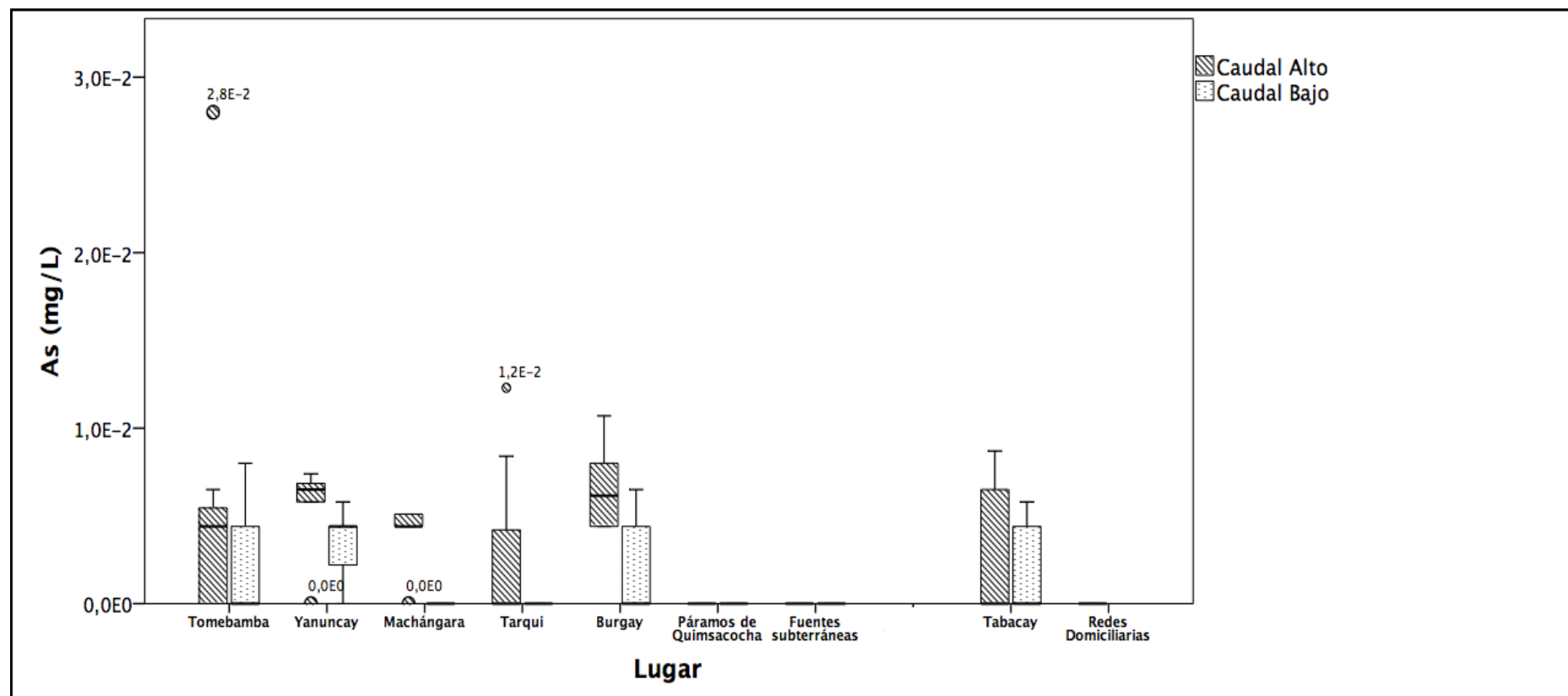
EE= Error estándar de la media;

Me= Mediana;

Mín= Valor Mínimo;

Máx= Valor Máximo

Los niveles de Arsénico (Tabla 22) presentan una alta variabilidad entre los diferentes lugares como se corrobora en la figura 12. El mayor valor de Arsénico se encontró en el río Tomebamba (valor máximo = 28×10^{-3}). Por otro lado, en la época de Caudal Bajo se presentó un mayor promedio en el río Yanuncay, que sin embargo no es el mayor valor de As, correspondiendo éste al río Tomebamba (valor máximo = 8×10^{-3}).



*Datos atípicos para cada lugar, son señalados con círculos pequeños (fuerte) y círculos grandes (muy fuerte) y su valor correspondiente de Arsénico.

Figura 12: Comportamiento del Arsénico (mg/L x10-3) en dos épocas del año (Fuente autor)

La presencia de gran cantidad de datos atípicos en casi todos los lugares analizados han generado un comportamiento con ausencia de normalidad para el análisis estadístico, es así como la prueba de Shapiro Wilk ha sido significativa en todos los casos ($P < 0.05$; Tablas 23 y 24). Esto deriva en el uso de análisis estadísticos no paramétricos como el uso de percentiles y correlaciones de Spearman.

Tabla 23: Resultados de la normalidad de datos en Caudal Alto

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	,186	49	,000	,841	49	,000
Temperatura	,451	49	,000	,203	49	,000
Conductividad	,259	49	,000	,691	49	,000
Turbiedad	,261	49	,000	,720	49	,000
Color	,246	49	,000	,711	49	,000
Arsénico en mg/L	,275	49	,000	,695	49	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente Autor

Tabla 24: Resultados de la normalidad de datos en época de Caudal Bajo

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	,164	45	,004	,871	45	,000
Temperatura	,183	45	,001	,879	45	,000
Conductividad	,272	45	,000	,725	45	,000
Turbiedad	,279	45	,000	,726	45	,000
Color	,232	45	,000	,771	45	,000
Arsénico en mg/L	,451	45	,000	,609	45	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente Autor

Por otro lado, las características físico-químicas del agua en cada lugar han sido determinadas, según su nivel de pH, temperatura, conductividad, turbiedad y color como se observa en la tabla 25.

**Tabla 25:** Calidad físico química del agua en los sitios muestreados, según épocas del año.

Épocas	Lugares	pH			Temperatura (°C)			Conductividad (us/cm)			Turbiedad (NTU)			Color (UPt-Co)		
		Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx
Caudal Alto	Tomebamba	7,33	7,05	7,50	14,83	12,50	15,80	138,27	113,40	179,00	40,08	1,27	222,00	244,71	57,00	1240
	Yanuncay	7,17	6,95	7,37	13,16	12,30	14,60	68,86	53,70	112,80	14,73	2,54	68,20	109,00	54,00	314
	Machángara	7,24	7,17	7,31	13,12	12,50	13,80	106,84	95,40	126,10	7,89	4,64	16,50	54,40	42,00	76
	Tarqui	7,05	6,97	7,15	14,67	13,80	15,30	96,36	45,60	122,10	69,04	16,00	96,10	362,43	132,00	468
	Burgay	7,40	7,25	7,58	13,33	12,50	14,20	336,73	103,80	515,00	76,90	2,31	187,00	287,83	52,00	650
	Páramos de Quim.	7,41	7,28	7,53	17,80	17,70	17,90	41,90	39,80	44,00	5,86	1,52	10,20	63,00	52,00	74
	Fuentes subt.	7,08	6,69	7,33	19,44	17,60	17,50	479,60	263,00	641,00	4,21	0,58	12,90	17,60	2,00	53
	Tabacay	6,97	6,42	7,37	18,85	18,50	19,20	626,33	360,00	1498,00	51,39	10,50	89,60	267,33	89,00	467
	Redes Domiciliarias	6,19	5,97	6,44	19,88	19,60	20,40	252,78	149,90	486,00	0,82	0,45	1,01	9,25	6,00	15
	Total	7,11	5,97	7,58	18,77	12,30	175,00	243,47	39,80	1498,00	34,94	,45	222,00	180,96	2,00	1240
Caudal Bajo	Tomebamba	7,26	6,93	7,45	14,47	14,20	14,80	152,63	108,50	211,00	8,10	1,38	28,30	78,86	52,00	142
	Yanuncay	7,37	7,11	7,50	15,83	15,50	16,10	129,56	95,80	186,90	6,68	1,92	17,10	66,71	32,00	95
	Machángara	7,33	7,14	7,43	15,02	14,80	15,20	103,48	89,00	116,80	4,68	2,47	8,92	76,40	56,00	102



Tarqui	7,32	7,12	7,65	15,87	15,30	16,20	128,57	58,90	179,50	27,52	4,54	65,30	223,14	86,00	493
Burgay	7,59	7,32	7,75	15,95	14,90	16,70	438,85	126,60	647,00	31,21	2,75	75,10	159,67	33,00	335
Páramos de Quim.	7,42	7,32	7,51	15,95	15,80	16,10	60,90	41,20	80,60	1,29	1,04	1,54	38,50	30,00	47
Fuentes subt.	6,62	6,11	6,89	17,26	16,80	17,90	396,42	161,10	514,00	3,08	1,01	9,74	12,60	2,00	29
Tabacay	7,03	6,24	7,39	19,30	19,10	19,50	491,50	260,00	1207,00	32,25	8,09	62,10	176,67	77,00	303
Total	7,24	6,11	7,75	16,18	14,20	19,50	246,19	41,20	1207,00	15,96	1,01	75,10	113,80	2,00	493

Mín= Valor Mínimo; Máx= Valor Máximo

Fuente Autor

Al momento de establecer estadísticamente parámetros para el nivel de Arsénico por lugar, se ha establecido técnicas paramétricas (intervalos de confianza) como no paramétricas (percentiles) los cuales se presentan descritos en las Tablas 26 y 27 según las épocas Caudal Alto y Caudal bajo respectivamente.

Por ejemplo, la concentración de Arsénico para Caudal Alto en el río Tomebamba, estadísticamente el valor puede ser desde 0 hasta 28×10^{-3} (con percentiles). Este nivel es diferente con el uso de intervalos de confianza, aunque esta última no es adecuada ante la presencia de datos atípicos y la no normalidad de datos como en este caso. Es así como para el río Tomebamba se presentaría el mayor nivel posible de presencia de Arsénico, el cual no sobrepasa la norma de acuerdo a las Tablas 26, 27 y la figura 13.

Tabla 26: Intervalos de Confianza al 95% para el nivel de Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) por Lugar solo para la época de Caudal Alto

LUGARES	n	PERCENTILES		INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95%		NORMATIVA**		
						1	2	3
		P 2,5	P 97,5	LI	LS			
Tomebamba	7	0	28	-3,04	15,4	50*	100*	200*
Yanuncay	7	0	7,4	3,3	8			
Machángara	5	0	5,1	1,1	6,5			
Tarqui	7	0	12	-1,8	7,7			
Burgay	6	4,4	11	4,1	9,1			
Páramos de Quimsacocha	2	---	---	---	---			
Fuentes subterráneas	5	---	---	---	---			
Tabacay	6	0	8,7	-1,7	6,7			
Redes Domiciliarias	4	---	---	---	---			
Total	49	0	12	2,2	5,1			

De donde:

n=cantidad de muestra; EE= Error estándar de la media; LI= Límite Inferior del intervalo; LS= Límite Superior del intervalo

* En notación científica $\times 10^{-3}$

** **Normativa 1** corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS;

Normativa 2 corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO; Y CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA;

Normativa 3 corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA PARA USO PECUARIO.

Fuente Autor

Tabla 27: Intervalos de Confianza al 95% para el nivel de Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) por Lugar solo para la época de Caudal Bajo

LUGARES	n	PERCENTILES		INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA AL 95%		NORMATIVA**		
		P 2,5	P 97,5	LI	LS	1	2	3
Tomebamba	7	0	8	-0,58	5,4	50*	100*	200*
Yanuncay	7	0	5,8	1,2	5,5			
Machángara	5	---	---	---	---			
Tarqui	7	---	---	---	---			
Burgay	6	0	6,5	-1,2	4,9			
Páramos de Quimsacocha	2	---	---	---	---			
Fuentes subterráneas	5	---	---	---	---			
Tabacay	6	0	5,8	-1,1	4,5			
Redes Domiciliarias	4	0	6,5	---	---			
Total	49	0	11	0,65	2,1			

En donde:

n=cantidad de muestra; EE= Error estándar de la media; LI= Límite Inferior del intervalo; LS= Límite Superior del intervalo

* En notación científica $\times 10^{-3}$

** **Normativa 1** corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS;

Normativa 2 corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO; Y CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA; **Normativa 3** corresponde a CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA PARA USO PECUARIO.

Fuente Autor

En cambio para la época de Caudal Bajo, se observa que los niveles máximos de Arsénico se presentan en el río Tomebamba y Burgay, en donde estadísticamente el parámetro podría llegar a ser hasta de 8 y 6,5 respectivamente. Los intervalos que permiten determinar el parámetro Arsénico en cada lugar son más pequeños en



relación al Caudal Alto lo que implicaría menores niveles de Arsénico de manera general en Caudal Bajo.

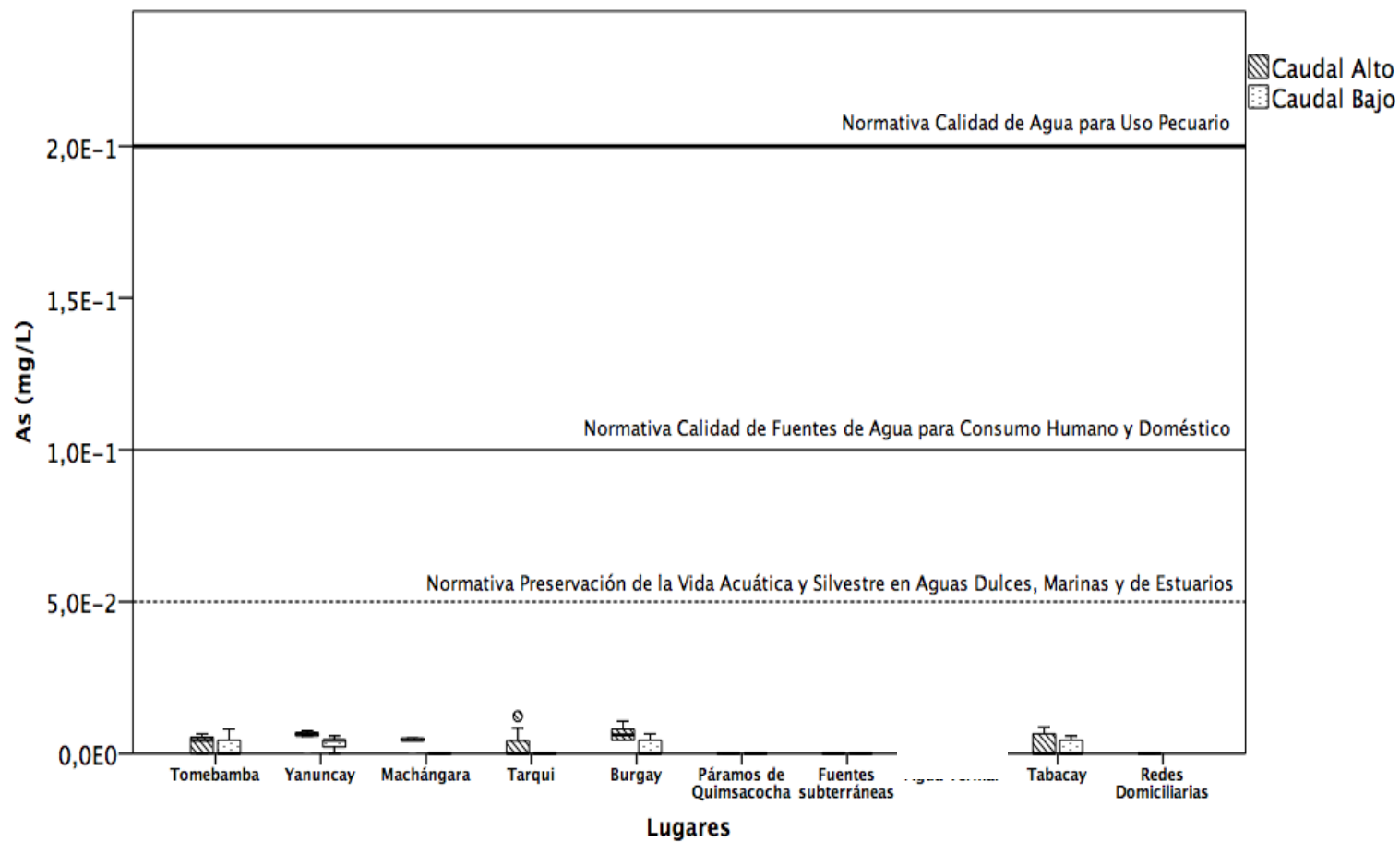


Figura 13: Comportamiento del Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) en dos épocas del año, según normas máximas permitidas

Fuente Autor

5.3 CORRELACIONES ENTRE LOS NIVELES DE ARSENICO Y LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA

Considerando los niveles de Arsénico encontrados y presentados en la Tabla 22 y los valores de la calidad físico-química del agua en la Tabla 25, el cálculo de correlaciones entre aquellos valores se presenta en las tablas 28 y 29 para Caudal Alto y de Caudal Bajo respectivamente.

Tabla 28: Correlaciones de Spearman entre los valores de la calidad fisico-quimica del agua y el nivel de Arsénico en la época Caudal Alto

	Indicadores de Calidad Físico – Química (n=49)				
	pH	Temperatura	Conductividad	Turbiedad	Color
Correlación	0,46*	-0,42*	0,13	0,41*	0,42*
Significancia	0,001	0,003	0,382	0,003	0,002
*. La correlación es estadísticamente significativa ($P < 0,05$) según estadístico de Spearman.					

Fuente Autor

Tabla 29: Correlaciones de Spearman entre los valores de la calidad fisico-quimica del agua y el nivel de Arsénico en la época de Caudal Bajo

	Indicadores de Calidad Físico – Química (n=45)				
	pH	Temperatura	Conductividad	Turbiedad	Color
Correlación	0,34*	-0,07	0,20	0,16	0,03
Significancia	0,023	0,627	0,417	0,287	0,827
*. La correlación es estadísticamente significativa ($P < 0,05$) según estadístico de Spearman.					

Fuente Autor

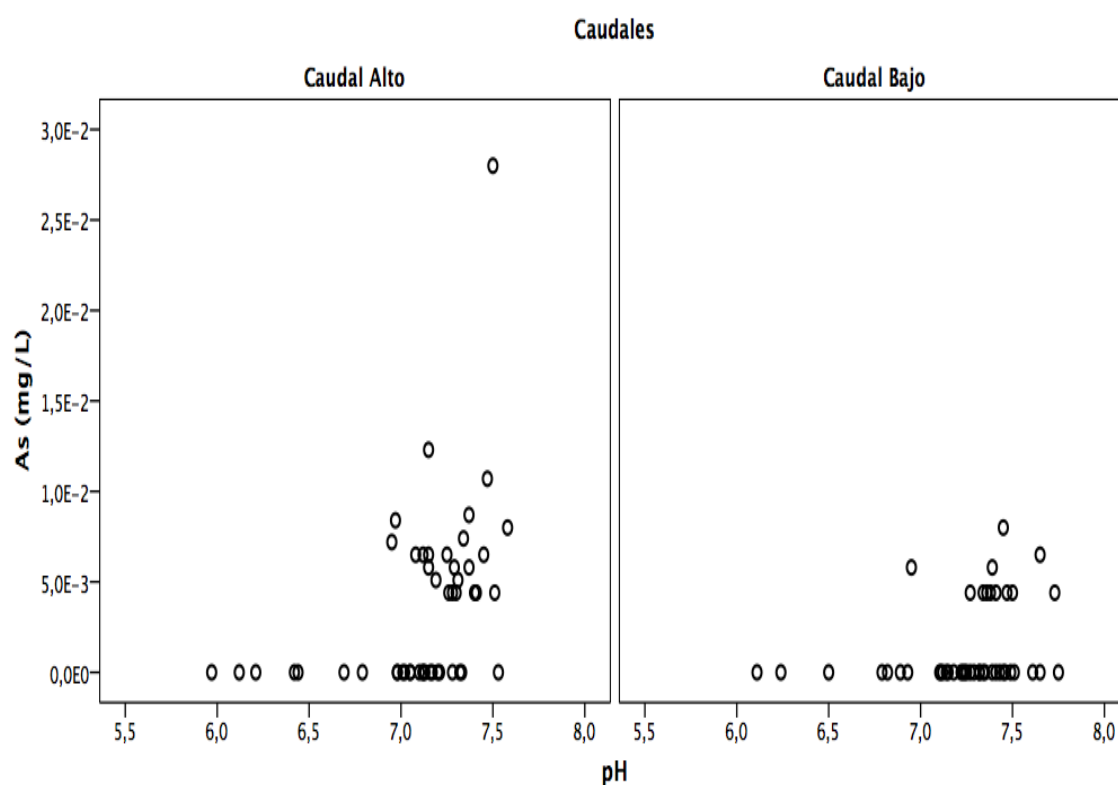
De acuerdo a los resultados en la Tabla 28, y que corresponde a Caudal Alto, se encuentra una correlación alta, positiva y significativa ($P < 0,05$) entre el As y el nivel de pH, indicando que a mayor nivel de pH, mayor nivel de Arsénico. Son tan altas también las correlaciones entre la Turbiedad, el Color y la Temperatura con el nivel de Arsénico, mismas que son significativas ($P < 0,05$). La Conductividad Eléctrica no mostró una relación estadística con el Arsénico.

Por otro lado, de acuerdo a los resultados en la Tabla 29, y que corresponde a Caudal Bajo, se encuentra nuevamente una correlación más alta, positiva y significativa ($P < 0,05$) entre el Arsénico y el nivel de pH. Sin embargo, esta relación es más fuerte en Caudal Alto la cual es claramente visible en el gráfico 14 en donde se presenta la dispersión entre el Arsénico y el pH.

No son tan altas las correlaciones entre la Turbiedad, el Color, la Temperatura y la Conductividad Eléctrica con el nivel de Arsénico, y tampoco estas son significativas ($P > 0,05$), aspecto diferente en la época Caudal Alto. Esto también se ve reflejado en los gráficos 15, 16 y 17.

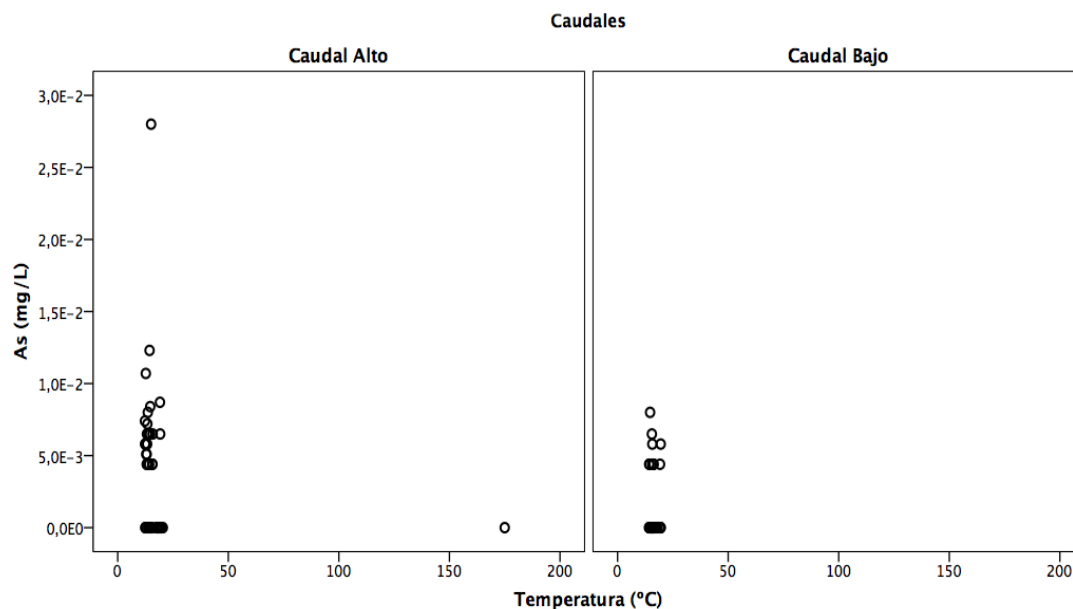
A diferencia de los resultados en Caudal Alto, cuando el Caudal es Bajo, las correlaciones estadísticas entre Arsénico y las demás variables dejan de ser significativas para encontrar una relación entre las variables.

Figura 14: Comportamiento del Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) en dos épocas del año en función del pH.



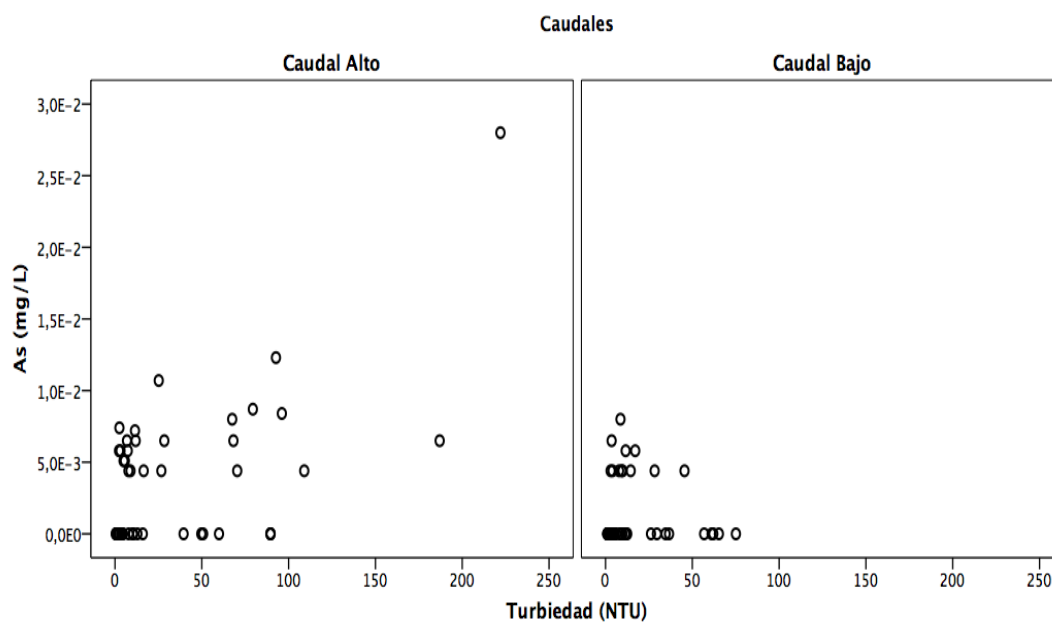
Fuente Autor

Figura 15: Comportamiento del Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) en dos épocas del año en función de la temperatura.



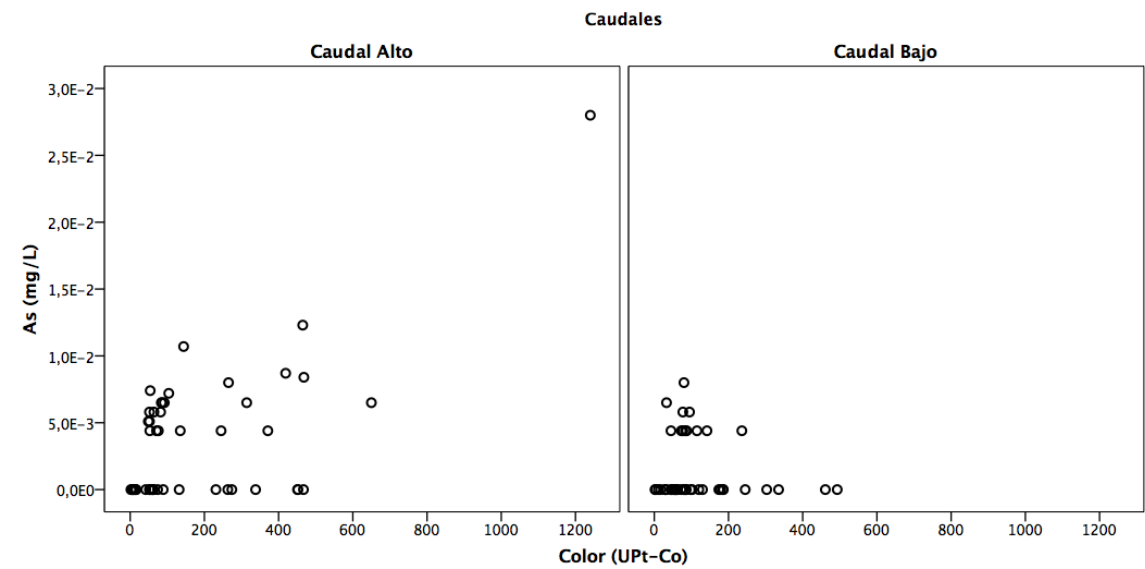
Fuente Autor

Figura 16: Comportamiento del Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) en dos épocas del año en función de la turbiedad.



Fuente Autor

Figura 17: Comportamiento del Arsénico ($\text{mg/L} \times 10^{-3}$) en dos épocas del año en función del color



Fuente Autor

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Del estudio realizado, se concluye:

1. Las aguas subterráneas y los páramos no presentan Arsénico, en ninguna época. Estos resultados son importantes; significa que estas fuentes naturales estarían aptas para el consumo humano y no requieren tratamiento previo para este elemento; pero esto significa también la necesidad de preservar esta calidad.

2. El agua de las redes domiciliarias está exenta de Arsénico, cumpliendo la calidad exigida en la normativa pertinente; no obstante provienen de fuentes que sí muestran Arsénico, (río Tabacay en las dos últimas estaciones) pero en concentraciones menores a las permitidas para este uso; significa que el tratamiento de potabilización empleado, que se hace para corregir las características físicas del agua, elimina también las pequeñas concentraciones de Arsénico del agua cruda, cuando está presente.

3. Todos los ríos presentan Arsénico; pero son importantes las siguientes definiciones:

3.1 El período climático (invierno-verano), influye significativamente en la presencia del Arsénico en los ríos. La precipitación arrastra el elemento hacia las corrientes receptoras, y ríos como el Machángara y el Tarqui, que no tienen Arsénico en estiaje, en el invierno ya es visible su presencia; sin embargo los niveles detectados no superan los límites establecidos para ningún uso.

3.2 El origen del Arsénico en los ríos, probablemente es debido a los plaguicidas de uso agrícola, y menos probable de origen industrial; pues la contaminación en algunos ríos, se inicia desde las primeras estaciones; todas las subcuencas descritas, ejercen actividad agrícola en mayor o menor grado. Así entonces, la contaminación es difusa y difícil de controlar.

3.3 El Arsénico puede encontrarse en forma de arsenitos (III) y/o arsenatos (V); pero en medios altamente oxidados por la presencia de oxígeno como en los ríos de alta montaña, la forma predominante es el Arsénico V, por lo tanto también la forma más tóxica.

4. En período de lluvias, las características físicas del agua (color y turbiedad) se deterioran; por lo que estos parámetros se convierten en una señal de alerta con respecto a la presencia del Arsénico; de tal manera que en invierno se deben tomar todas las precauciones con respecto a los usos, ya que al no conocer la concentración de Arsénico, es mejor: no regar cultivos, no bebida para animales, no potabilizar, etc.

5. El pH del agua, guarda relación directa con la concentración del Arsénico, y en período de lluvias el pH en general es mayor que en estiaje para una misma estación; significa que el arrastre de sólidos por la precipitación crea una condición química apta para la disolución del Arsénico; otra razón más para evitar el uso del agua, en invierno.

6. El Arsénico se relaciona directamente con parámetros físicos, como el color y la turbiedad; pero no con la conductividad (parámetro químico); por lo que la estética que es totalmente visible se convierte en un indicador de calidad, al alcance de las juntas administradoras de agua, más precarias.

7. El aspecto toxicológico del Arsénico ha sido analizado considerando a este elemento, primero como un tóxico y luego por su efecto cancerígeno, ya que hay tóxicos que no son cancerígenos.

Al ser un tóxico es aplicable el índice de peligro (IP) y el margen de exposición (ME); de los cuales los resultados que se obtuvieron el IP presenta un valor muy pequeño lo que indica que con los valores obtenidos no refleja un peligro al ingerir el agua con ese

contenido de Arsénico; y el ME presenta un valor amplio, lo cual indica que existe un amplio margen dentro del cual al consumir el agua de bebida por la población no va a causar efectos en la salud de la población.

Cuando la sustancia es cancerígena, es importante además de los índices anteriores, establecer el denominado *“riesgo de cancer”*.

Con los niveles de Arsénico detectados, no existe riesgo toxicológico para las fuentes de agua destinadas a consumo humano; tampoco hay riesgo para el mantenimiento del ecosistema y los otros usos del agua; como ningún valor superó los niveles permitidos, significa que los valores de norma tienen una relevancia muy grande en la protección de la salud de los consumidores y de los ecosistemas.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

1. Aunque los niveles de Arsénico no superan valores de norma, su presencia en los cuerpos receptores ya es un factor de alarma; esto sugiere la necesidad de mantener una permanente vigilancia de la calidad de los ríos, más aún cuando se trata de sustancias cancerígenas; es tan importante este aspecto, que algunos autores sugieren que los índices de calidad del agua, basados en parámetros físico-químicos y bacteriológicos convencionales, normalmente empleados para evaluar la calidad, deben incluir también parámetros toxicológicos, que den cuenta de la peligrosidad del agua, aun cuando aquellos índices la cataloguen como “segura”.

2. Las aguas subterráneas analizadas están libres de Arsénico, pero en los acuíferos investigados. Por la geología de todas las subcuencas descritas, no se evidencia la presencia de minerales de Arsénico que comprometan la calidad de los acuíferos, como la arsenopirita (AsFeS) por ejemplo; no obstante de estar presentes hay situaciones de riesgo que pueden movilizar el Arsénico a la solución. Compuestos de hidróxidos de calcio, de magnesio y de aluminio, presentes en minerales como arcillas, limos, areniscas, arenas limosas, calizas, etc., y muy frecuentes en las subcuencas descritas, tienen grupos OH^- (hidroxilos) libres y con gran capacidad de adsorción sobre los iones As(V) , formando complejos muy estables, con lo que el Arsénico esta “atrapado”; pero en ambientes anóxicos (carentes de oxígeno), como sucede en los acuíferos, se produce la reducción del As(V) , pasando a As(III) , y éste ya no es tan fuertemente adsorbido a la superficie de los hidróxidos mencionados, por lo que el Arsénico puede ingresar a la solución.

Otra situación de riesgo que produce la desorción del Arsénico es el incremento de pH en el agua; por lo que actividades antropogénicas que produzcan este efecto, deben ser evitadas.

3. El presente estudio debe ser entregado a la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua), para que considere en las concesiones del recurso, la calidad del agua.

4. El presente estudio constituye un aporte en la investigación de la calidad de las aguas subterráneas que se inicia en la ciudad de Cuenca, en la búsqueda de nuevas fuentes, ya que datos certeros indican que para el techo del año 2050, los caudales de las fuentes superficiales, serán insuficientes para satisfacer la demanda de una población que crece a un ritmo no acompasado con las planificaciones institucionales; por lo que el estudio de las aguas subterráneas debe estar acompañado de los correspondientes estudios hidrogeoquímicos que establezcan los posibles riesgos en la calidad del recurso.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) AECOSAM. (2016). *Agencia Española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición*. Obtenido de http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/arsenico.htm
- 2) Agencia Catalana del Agua. (2017). Aguas Subterráneas. *Generalitat de Catalunya*
- 3) Amberg, K., Turyk, M., Jones, R., Rankin, K., Freels, S., Grabera, J., & Stayner, L. (2017). Arsenic in drinking water and adverse birth outcomes in Ohio. *Elsiever Environmental Research*, 157, 52-59.
- 4) APHA, A. W. (2010). *Standar Methods*. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos.
- 5) Arévalo, B. (2006). Las comunidades locales y la microcuenca del río Irquis en la provincia del Azuay. *Tesis Maestría en Ciencias Sociales con especialidad en asuntos étnicos*. Flacso. Quito, Ecuador.
- 6) Arias Peláez, M. (2016). Polimorfismo rs699780 del gen NOTCH2 como factor proinflamatorio y su asociación con diabetes tipo 2 en sujetos expuestos a agua contaminada con Arsénico. . *Universidad Juárez del Estado de Durango*. Durango, Ciudad de Mexico, México. Mexico.
- 7) *Arkiplus*. (2011). Obtenido de El ciclo del agua: <http://www.arkiplus.com>
- 8) ATSDR. (2007). Resumen de Salud Pública. Arsénico. CAS#: 7440-38-2. *División de Toxicología y Medicina Ambiental*.
- 9) ATSDR. (mayo de 2016). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de *Reseña Toxicológica del Arsénico*, Atlanta, Departamento de Salud y Servicios Humanos de EEUU.
- 10) Aurazo, M. (2004). Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida. Lima, Peru.
- 11) Banús, M. d. (2010). H2O Elixir de la Vida. *Revista: Elementalwatson*, 8.
- 12) Barnwal, P., Geen, A. v., Goltz, J. d., & Singh., C. K. (2017). Demand for environmental quality information and household response: Evidence from well-water arsenic testing. *Elsiever, Journal of Environmental Economics and Management*, 86, 160-192.



- 13) Bataller, R. (2004). *Toxicología Clínica*. España: Universidad de Valencia.
- 14) Beltrán, A., Mendieta, P., & Vanegas, J. (2010). Calidad del Agua y contaminantes en el Río Tarquí. *Galileo*, 115-121.
- 15) Bonilla, O. (2013). Agua y minería en el Quimsacocha. *Tesis para obtener el título de maestría en desarrollo territorial rural*. Flacso. Quito, Ecuador.
- 16) Bulka, C., Jones, R., Turyk, M. L., & Maria, A. (2016). Arsenic in drinkig water and prostate cancer in Illinois counties: An ecologic study. *Elsiever. Environmental Research*, 148, 450-456.
- 17) Butler, G. (1978). *Principles of Ecotoxicology*.
- 18) Camacho, B., Curcio, H., Duhalde, D., Fuentes, A., Magneres, A., Muller, C., . . . Suárez, P. (2008). *Reducción de Arsénico en agua, uso de un método doméstico*. Obtenido de <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- 19) Carabias, J., & Landa, R. (2005). *Agua, Mediambiente y Sociedad*. Mexico.
- 20) Cardenas, C., Salomone, C., Dominguez, F., Cichero, F., Muñoz, P., & Gonzalez, S. (2010). *Revista Chilena de Cirugía*, 62(3), 272-275.
- 21) Carvajal, A., & González, M. (2003). Funciones biológicas del agua en relación con sus características físicas y químicas. *En Agua, El arte del buen comer*, 249-256.
- 22) Castelo, M. (2015). Determinación de Arsénico y Mercurio en Agua de consumo del cantón Rumiñahui por espectrofotometria de Absorción Atómica,. *Tesis para la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas, especialidad Química analítica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- 23) Castro de Esparza, M. (2006). Presencia de Arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la Salud Pública. *Colegio Internacional Natural Arsenic in Groundwaters of Latin American*. México.
- 24) CEH . (2000). Libro Blanco del Agua en España. *Centro de Estudios Hidrográficos*. España.
- 25) Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile; Stockholm Environment Institute. (2009). *GUIA METODOLÓGICA MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y DE RECURSOS HÍDRICOS CON EL MODELO WEAP*. Chile, Boston.

- 26)** CEPAL. (2012). DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR. Ecuador.
- 27)** Cocha, J. (2009). Estado actual de la calidad físico-química, bacteriológica y biológica del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano) del cantón Cuenca provincia del Azuay-Ecuador. *Tesis para la graduación previo a la obtención del Título de Biologa*. Cuenca, Ecuador.
- 28)** CONAGUA. (2010). Usos del Agua. En *Estadísticas del Agua en México* (págs. 60-76). México.
- 29)** Cuerpo de Ingenieros de los EEUU. (1998). Evaluación de los Recurso de Agua del Ecuador.
- 30)** Eichstaedt, C., Antao, T., Cardona, A., Pagani, L., Kivisild, T., & Mormina, M. (2015). Positive selection of AS3MT to arsenic water in Andean populations. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 780, 97-102.
- 31)** ELIKA. (2013). Fundación Vasca para la seguridad agroalimentaria. *Arsenico*. España.
- 32)** EMAAPQ, E. M. (2007). Auditoría ambiental de la calidad del agua de consumo humano de las poblaciones de Guayllabamba y Tumbaco. Quito, Ecuador.
- 33)** ETAPA. (2007). Caracterización de la cuenca del río Yanuncay. Cuenca, Ecuador.
- 34)** Fernandez, A. (2012). El Agua: Un recurso esencial. *Revista: Química Viva*, 146-149.
- 35)** Galetovic Carabantes, A., & de Fernicola, N. A. (2003). Arsénico en el Agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas*, 39(4).
- 36)** Galvao, L., & Corey, G. (1987). Arsénico, Manual de Vigilancia Ambiental. *Volumen* 3. Mexico.
- 37)** García, C. (2012). Problemática y Riesgo Ambiental por el Uso de Plaguicidas en Sinaloa. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* , 1-10.
- 38)** Giraldo, G. (1995). BDIGITAL Repositorio Institucional . *Manual de Análisis de Aguas*. Colombia.



- 39) Hernandez-Cruz, B., De Luna Cruz, F., Sanchez-Cruz, J., & Romero, F. (2015).
Dispersión hídrica de Arsénico en el distrito minero de San Antonio-El Triunfo.
Revista Tecnología y Ciencias del Agua, VI(5), 113-122.
- 40) IARC. (2002). *International Agency for Research on Cancer. Overall evaluations of carcinogenicity to humans*. Obtenido de
<http://193.51.164.11/monoeval/crthgr01.html.2002>
- 41) INEN. (2014). INEN 1108 Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1108. *Agua Potable, Quinta Edición*.
- 42) INSHT. (2011). *Fichas Internacionales de Seguridad Química. Arsénico*.
- 43) Kapil Dev, B., Tasneem, G., Hassan Imran, A., Shahid, N., Sadia Safad, A., Sham Kumar, W., & Faheem, S. (2013). Simultaneously evaluate the toxic levels of fluoride and arsenic species in underground water of Tharparkar and possible contaminant sources: A multivariate study. *Elsevier. Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89, 95-107.
- 44) MAE, M. d. (2018). *Elaboración del Plan de Manejo del área Nacional de Recreación Quimsacocha*. Cuenca: Insignia.
- 45) Manring, J. (1997). OPS-OMS. Recuperado el 5 de Mayo de 2012, de Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente. México:
<http://190.223.52.140:8080/cendoan/bitstream/123456789/297/1CDAM0000158.pdf>
- 46) Mardirosian, M. N. (2015). *Ecotoxicología del Arsénico y mecanismos de acción en el desarrollo del anfibio *Rhinella arenarum**. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires:
<http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesisn5664 Mardirosian.pdf>
- 47) Mayorga, M. (2012). Arsénico en aguas subterráneas su transferencia al suelo y a la planta. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. España.
- 48) Mejía, M., González, L., Briones, R., Cardona, A., & Soto, P. (2014). Mecanismos que liberan Arsénico al agua subterránea de la comarca La Comarca Lagunera, estados de Coahuila y Durango. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 71-82.



- 49) Mencias, E., & Mayero, F. (2006). *Manual de Toxicología Básica*. Madrid: Diaz de santos S.A.
- 50) Molina, R. (2012). Discursos y prácticas sociales frente al entorno natural en la microcuenca del río Tabacay. *Tesis. Obtención del título de Magister en sociología y desarrollo*. Cuenca , Ecuador.
- 51) Moreno. (2010). Recuperación de Suelos Mineros Contaminados con Arsénico mediante Fitotecnologías. *Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Química Agrícola. Tesis Doctoral*.
- 52) Moreno, M. (2003). *Toxicología Ambiental. Primera Edición*. España: Mc GRAW-HILL.
- 53) OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. *OMS, 1*(Primer apéndice, Tercera Edición).
- 54) OPS. (1997). Perfil Toxicológico del Arsénico As Numero CAS 7440382.
- 55) Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico. Perú: Foro Peruano para el Agua - GWP Perú.
- 56) Ortega, E. (2012). Elaboración de mapas tipo atlas para la subcuenca del río Machángara. *Tesis, para la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- 57) Palintest Ltda. (s.f.). *Palintest_Arsenic_Test_Instruction_pdf*. Obtenido de www.palintest.com
- 58) Pauta, G. (2010). Manual de Teoría y Prácticas de Análisis de aguas. *Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería*. Cuenca, Ecuador.
- 59) Pauta, G. (2014). Estudio integral de la Calidad del Agua del Río Burgay y Evaluación del Riesgo Toxicológico por la probable presencia de Plaguicidas. *Tesis, Obtencion del Título de Magister de Toxicología industrial y Ambiental. Primera Cohorte*. Cuenca, Ecuador.
- 60) PDOT SAYAUSI, P. d. (2011). Plan de desarrollo de Ordenamiento Territorial. Cuenca, Ecuador.
- 61) PDOT TARQUI, P. d. (2015). Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Tarqui. Cuenca, Ecuador.

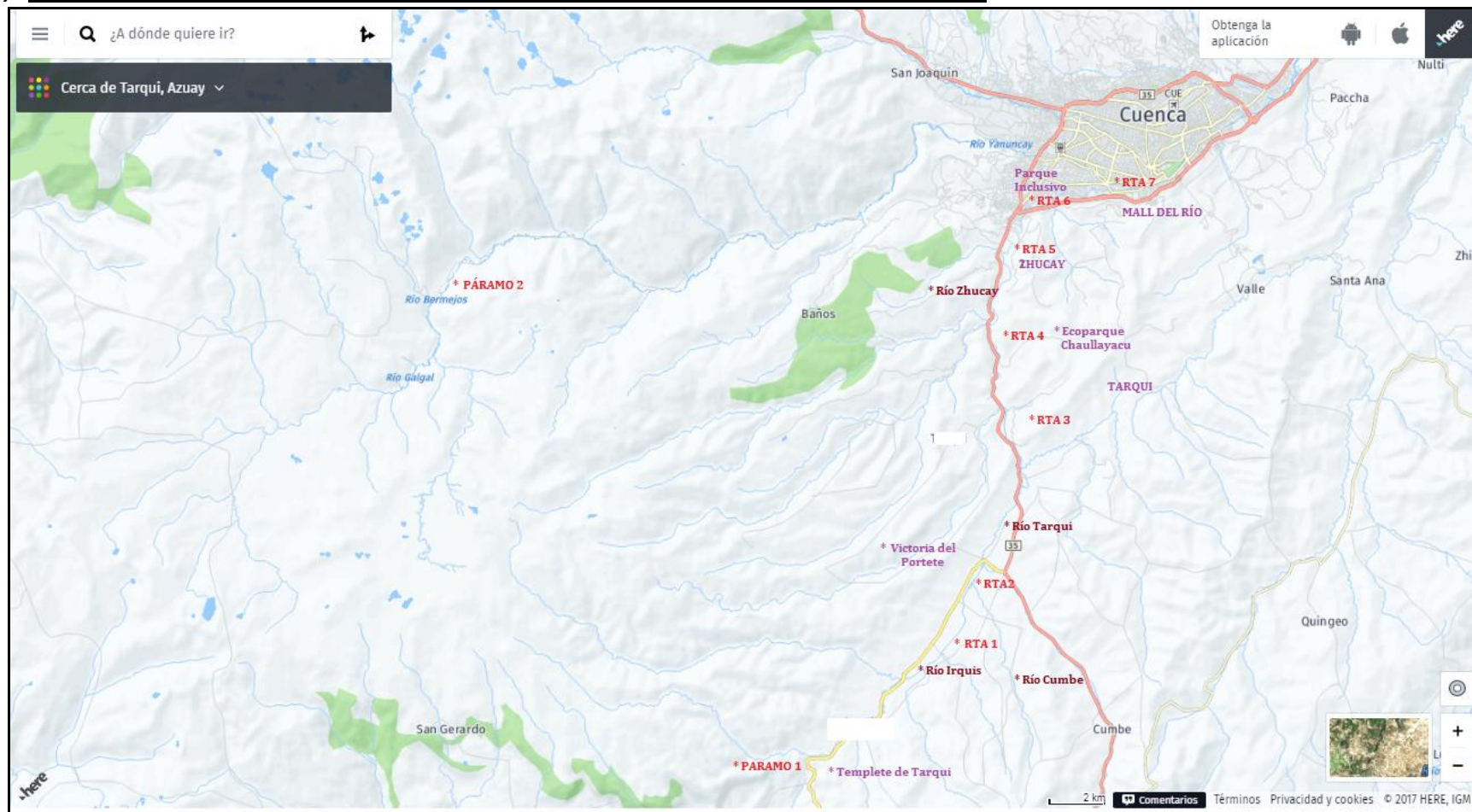
- 62) Perez, J. (2012). Toxicología General. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- 63) Pesantez, J. (2015). Propuesta de modelo de gestión de la subcuenca del río Tomebamba como herramienta de manejo integrado y de conservación. *Tesis, Grado de Magister en Gestión Ambiental*. Cuenca, Ecuador.
- 64) Prieto Garcia, F., & al, e. (2006). Daños tóxicos en tejidos vegetales, producidos por aguas contaminadas con Arsénico en Zimapán, Hidalgo, México. *Food Science and Technology*, 26(1), 94-97.
- 65) PROMAS. (2003). Plan de manejo de la microcuenca del río Tabacay. 1-4. Cuenca, Ecuador.
- 66) Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Cresp, P., & Céleri, R. (2015). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Sociedad Colombiana de la ciencia del Suelo*, 138-153.
- 67) Rodriguez, J. (2009). Parámetros físico-químicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las asociaciones administradoras del acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Revista Panamericana Actual, Universidad de Costa Rica*, 127.
- 68) Ruelas, C. (2014). Contaminación del agua por Arsénico. Tomado de:
<https://es.scribd.com/document/214590440/Contaminacion-del-Agua-por-Arsenico>
- 69) Saint-Jacques, N., Brown, P., Nauta, L., Boxall, J., Parker, L., & Dummer, T. (2017). Estimating the risk of bladder and kidney cancer from exposure to low-levels of arsenic in drinking water, Nova Scotia, Canada. *Elsiever Environment International*, 110, 95-104.
- 70) Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (Diciembre de 2007). Revisión de parámetros físico-químicos como indicadores de parámetros de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- 71) SENAGUA. (2010). Políticas para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.
- 72) Suarez, M., Gonzalez, D., Rubio, C., & Hardisson de la Torre, A. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. (35). España.



- 73)** Taehyun, R. L., Weyerc, P., Wang, K. K., & Ludewig, G. (2016). Low-Level arsenic exposure from drinking water is associated with prostate cancer in Iowa. *Environmental Research*, 159, 338-343.
- 74)** Timbe, L., & Timbe, E. (2012). Mapeo del Peligro de Inundación en ríos de montaña, caso de estudio del Río Burgay. *Revista MASKANA*, 89.
- 75)** Torres, S., & Quintero, V. (2010). Determinación de la Concentración Letal Media CL 50 de aluminio y Arsénico mediante Bioensayos de Toxicidad Acuática sobre *Daphnia Magna*. *Tesis de grado para obtener el título de Ingenierías Ambientales y Sanitarias. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. Bogotá, Colombia.
- 76)** Urgiles, P. (2016). Control de calidad del agua y análisis de sedimentos en la microcuenca del río Tabacay. *Tesis. Obtencion del Título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- 77)** USEPA; IRIS; OMS. (20011). Perfil Toxicológico del Arsénico As Numero CAS 7440382.
- 78)** Ventura-Lima, Bogó, M., & Monserrat, J. (2011). Arsenic toxicity in mammals and aquatic animals: a comparative biocheical approach. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74, 211-218.
- 79)** Williams, M. (2001). Arsenic in mine waters: An International Study. *Environmental Geology*. 3, 12.
- 80)** Wottiiz, C., & Moreno, G. (2011). Fijación química del preservante CCA-C en la madera de *Pinus elliottii* Parte 1: Influencia de la temperatura y de la humedad relativa. *Maderas, Ciencia y Tecnología*. Scielo.

ANEXO 1

1) Mapa de los puntos de monitoreo del Río Tarqui y los Páramos de Quimsacocha



2) Mapa de los puntos de monitoreo de los Ríos Tomebamba, Yanuncay y Machángara







SIMBOLOGIA

1) Mapa de los puntos de monitoreo del Río Tarqui y los Páramos de Quimsacocha

Páramo 1: Río Bermejos, Soldados.

Páramo 2: Portete de Tarqui.

RTA 1: Río Tarqui Estación 1 Antes de la junta con el río Irquis

RTA 2: Río Tarqui Estación 2 Después de la junta con el río Cumbe

RTA 3: Río Tarqui Estación 3 Río Tarqui

RTA 4: Río Tarqui Estación 4 Zona Franca

RTA 5: Río Tarqui Estación 5 Después de la Junta con el Río Zhucay

RTA 6: Río Tarqui Estación 6 Parque Inclusivo

2) Mapa de los puntos de monitoreo de los Ríos Tomebamba, Yanuncay y Machángara

RTO 1: Río Tomebamba Estación 1 Llaviuco

RTO 2: Río Tomebamba Estación 2 Sayausi

RTO 3: Río Tomebamba Estación 3 Puente del Vado

RTO 4: Río Tomebamba Estación 4 Puente Empresa Eléctrica

RTO 5: Río Tomebamba Estación 5 Antes de la junta con el río Milchichig

RTO 6: Río Tomebamba Estación 6 Antes de la junta con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR

RTO 7: Río Tomebamba Estación 7 Puente Chaullabamba

RY 1: Río Yanuncay Estación 1 Puente Dispensario del IESS Barabón

RY 2: Río Yanuncay Estación 2 Barabón

RY 3: Río Yanuncay Estación 3 San Joaquín

RY 4: Río Yanuncay Estación 4 Puente Av. Loja

RY 5: Río Yanuncay Estación 5 Tres Puentes

RY 6: Río Yanuncay Estación 6 Redondel de la Universidad del Azuay

RY 7: Río Yanuncay Estación 7 Parque el Paraíso

RM 1: Río Machángara Estación 1 Chiquintad

RM 2: Río Machángara Estación 2 Ochoa León

RM 3: Río Machángara Estación 3 Feria de Ganado

RM 4: Río Machángara Estación 4 Parque Industrial

RM 5: Río Machángara Estación 5 Redondel Av. Gonzales Suarez

3) Mapa de los puntos de monitoreo del Río Burgay y Tabacay

RB 1: Río Burgay Estación 1 Río Cachi

RB 2: Río Burgay Estación 2 Río Burgay Origen

RB 3: Río Burgay Estación 3 Río Burgay antes de la junta con el Río Tabacay

RB 4: Río Burgay Estación 4 Río Burgay después de la junta con el Río Tabacay

RB 5: Río Burgay Estación 5 Río Burgay antes de la junta con el Río Deleg

RB 6: Río Burgay Estación 6 Río Burgay después de la junta con el Río Deleg

RTB 1: Río Nudpud

RTB 2: Quebrada Monjas

RTB 3: Río Tabacay

RTB 4: Río Tabacay a pocos metros antes de la Empresa Guapan

RTB 5: Río Tabacay antes del mercado. Después de la Empresa Guapan

RTB 6: Río Burgay A.J. Tabacay sector mercado

4) Mapa de los puntos de monitoreo de los Pozos de Agua Subterránea de la Universidad de Cuenca

Pozo 1: Junto a la Cafetería



Pozo 2: Detrás del Comisariato

Pozo 3: Junto al Laboratorio Clínico

Pozo 4: Entrada principal de la Universidad

Pozo 5: Junto a la cancha del estadio de la Universidad

ANEXO 3

FOTO N. 1: Toma de la muestra # 1 del Rio Tomebamba, sector laguna de Llaviucu



FOTO N. 2: Análisis del pH insitu, muestra # 1 sector laguna de Llaviucu



FOTO N. 3: Toma de la muestra # 2 del Rio Tomebamba, sector Sayausí



FOTO N. 4: Toma de la muestra # 3 del Río Tomebamba, sector Puente del Vado



FOTO N. 5: Toma de la muestra # 4 del Río Tomebamba, sector Empresa Eléctrica



FOTO N. 6: Toma de la muestra # 5 del Río Tomebamba, sector A.J. Milchichig



FOTO N. 7: Toma de la muestra # 6 del Río Tomebamba, sector A.J. P tar.



FOTO N. 8: Toma de muestra # 7 del Río Tomebamba, sector Puente Chaullabamba



FOTO N.9: Toma y análisis de muestra #1 Río Yanuncay, dispensario Barabón



FOTO N.- 10: Toma de muestra # 2 Río Yanuncay, sector Barabón



FOTO N.- 11: Determinación de pH, muestra # 2 del río Yanuncay



FOTO N.- 12: Toma de muestra # 3 del Río Yanuncay, sector Puente Misicata



FOTO N.- 13: Toma de muestra # 4 del Río Yanuncay, sector Av. Loja



FOTO N. 14: Toma de muestra # 5 del Río Yanuncay, sector Tres puentes



FOTO N. 15: Toma de muestra # 6 del Río Yanuncay, sector UDA

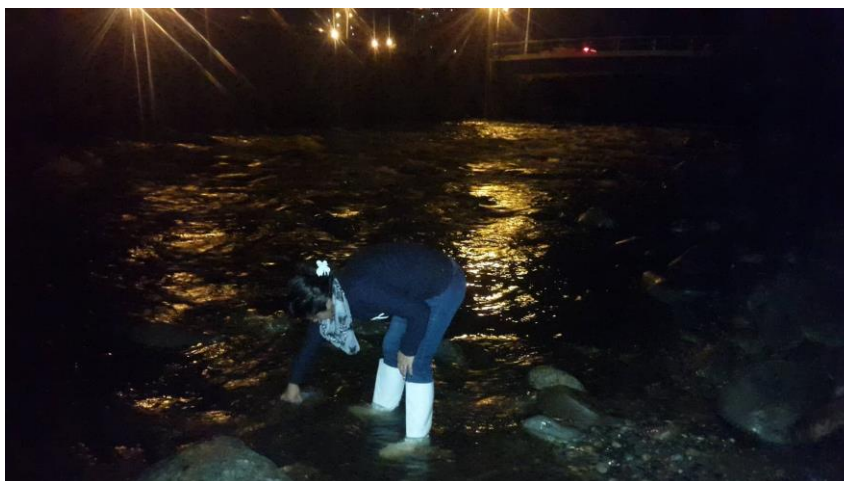


FOTO N. 16: Toma de muestra # 7 del Río Yanuncay, sector Parque Paraíso



FOTO N. 17: Toma de muestra # 1 del Río Machángara, sector Chiquintad



FOTO N. 18: Toma de muestra # 2 del Río Machángara, sector Ochoa León



FOTO N. 19: Toma de muestra # 3 del Río Machángara, sector Feria de Ganado



FOTO N. 20: Toma de muestra # 4 del Río Machángara, sector Parque industrial



FOTO N. 21: Toma de muestra # 5 del Río Machángara, sector Av. Gonzales Suarez



FOTO N. 22: Toma de muestra # 1 del Río Tarqui, sector A.J. Río Irquis



FOTO N. 23: Toma de muestra # 2 del Río Tarqui, sector A.J. Río Cumbe



FOTO N. 24: Toma de muestra # 3 del Río Tarqui, sector ingreso a Tarqui



FOTO N. 25: Toma de muestra # 4 del Río Tarqui, sector Zona Franca



FOTO N. 26: Toma de muestra # 5 del Río Tarqui, sector D.J. Río Zhucay



FOTO N. 27: Toma de muestra # 6 del Río Tarqui, sector Parque Inclusivo



FOTO N. 28: Toma de muestra # 7 del Río Tarqui, sector A.J. Río Yanuncay



FOTO N. 29: Toma de muestra # 1 del Río Burgay, sector Río Cachi (Nazón)



FOTO N. 30: Toma de muestra # 2 del Río Burgay, sector Río Burgay origen

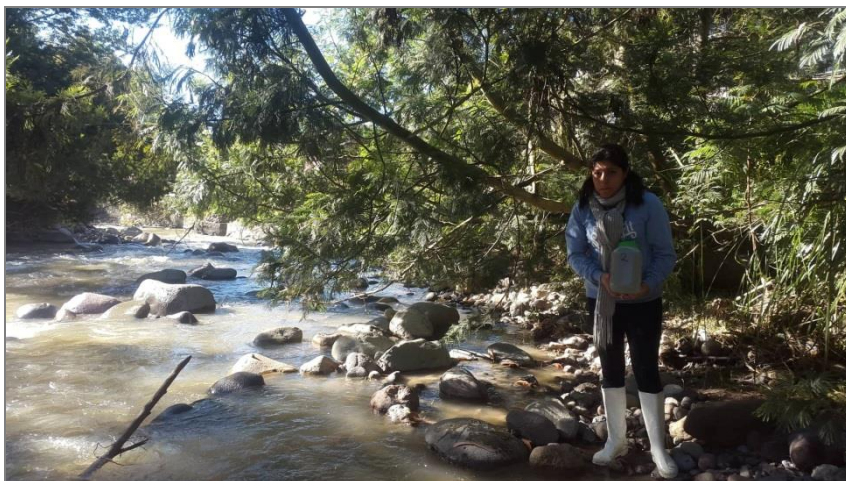


FOTO N. 31: Toma de muestra # 3 del Río Burgay, sector A.J. Río Tabacay



FOTO N. 32: Toma de muestra # 4 del Río Burgay, sector D.J. Río Tabacay



FOTO N. 33: Toma de muestra # 5 del Río Burgay, sector A.J. Río Déleg



FOTO N. 34: Toma de muestra # 6 del Río Burgay, sector D.J. Río Déleg



FOTO N. 35: Toma de muestra # 1 del Río Tabacay, sector Río Nudpud

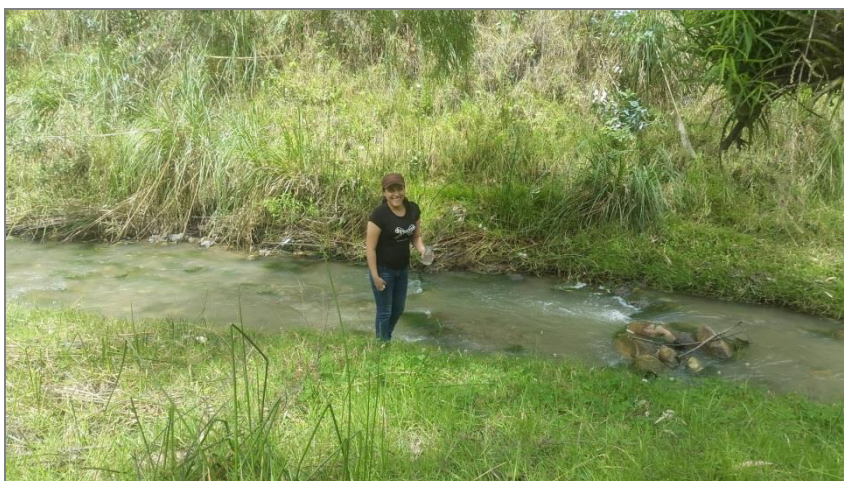


FOTO N. 36: Toma de muestra # 2 del Río Tabacay, sector Quebrada Monjas



FOTO N. 37: Toma de muestra # 3 del Río Tabacay, sector origen Tabacay



FOTO N. 38: Toma de muestra # 4 del Río Tabacay, sector antes Guapán



FOTO N. 39: Toma de muestra # 5 del Río Tabacay, sector después Guapán



FOTO N. 40: Toma de muestra # 6 del Río Tabacay, sector A.J. Río Burgay



FOTO N. 41: Toma de muestra Páramo de Quimsacocha sector Portete de Tarqui



FOTO N. 42: Toma de muestra Páramo de Quimsacocha sector Río Bermejos



FOTO N. 43: Toma de muestra del Agua Termal, sector Baños



FOTO N. 44: Toma de muestra del Agua Subterránea, Pozo # 1 U. de Cuenca



FOTO N. 45: Toma de muestra del Agua Subterránea, Pozo # 2 U. de Cuenca



FOTO N. 46: Toma de muestra del Agua Subterránea, Pozo # 3 U. de Cuenca



FOTO N. 47: Toma de muestra del Agua Subterránea, Pozo # 4 U. de Cuenca



FOTO N. 48: Toma de muestra del Agua Subterránea, Pozo # 5 U. de Cuenca



FOTO N. 49: Transporte de las muestras hacia el laboratorio



FOTO N. 50: Muestras en el laboratorio para análisis



FOTO N. 51: Determinación de pH, temperatura, conductividad de las muestras



FOTO N. 52: Determinación de Color y turbiedad en las muestras



FOTO N. 53: Determinación de Arsénico mediante el equipo ARSENATOR

